



حكومة إقليم كوردستان ـ العراق
وزارة التربية ـ المديرية العامة للمناهج والمطبوعات

## العلــوم للجميـــع

# عِلمُ الأحيـاء

## كتاب الطالب - الصف الحادي عشر العلمي

الطبعة السابعة
٢٠١٥م / ٢٧١٥ كوردي / ١٤٣٦ هـ

الأشراف الفني على الطبع
عثمان پيرداود كواز
آمانج اسماعيل عبدي

# المحتويات

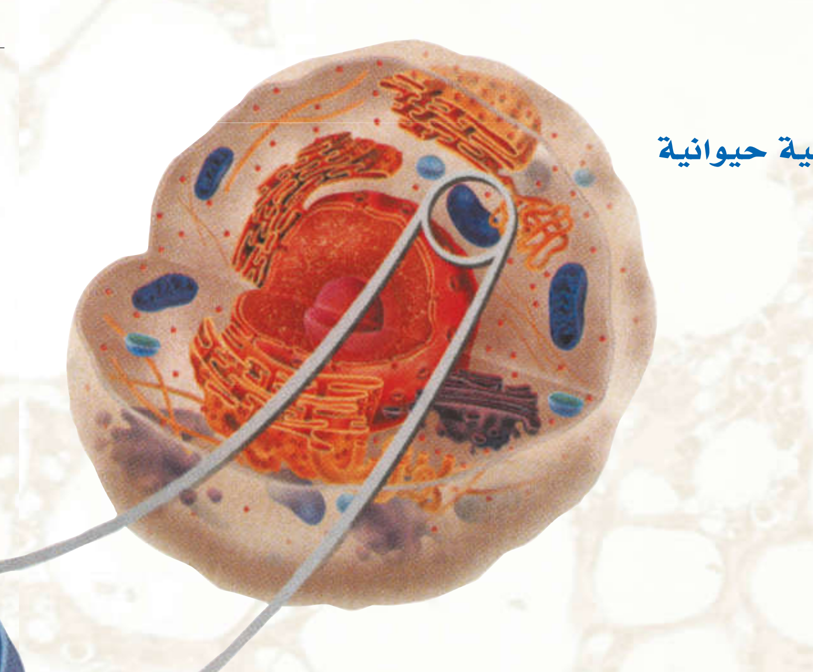
# الوَحْدة 1

# الخليَّة

## الفصول

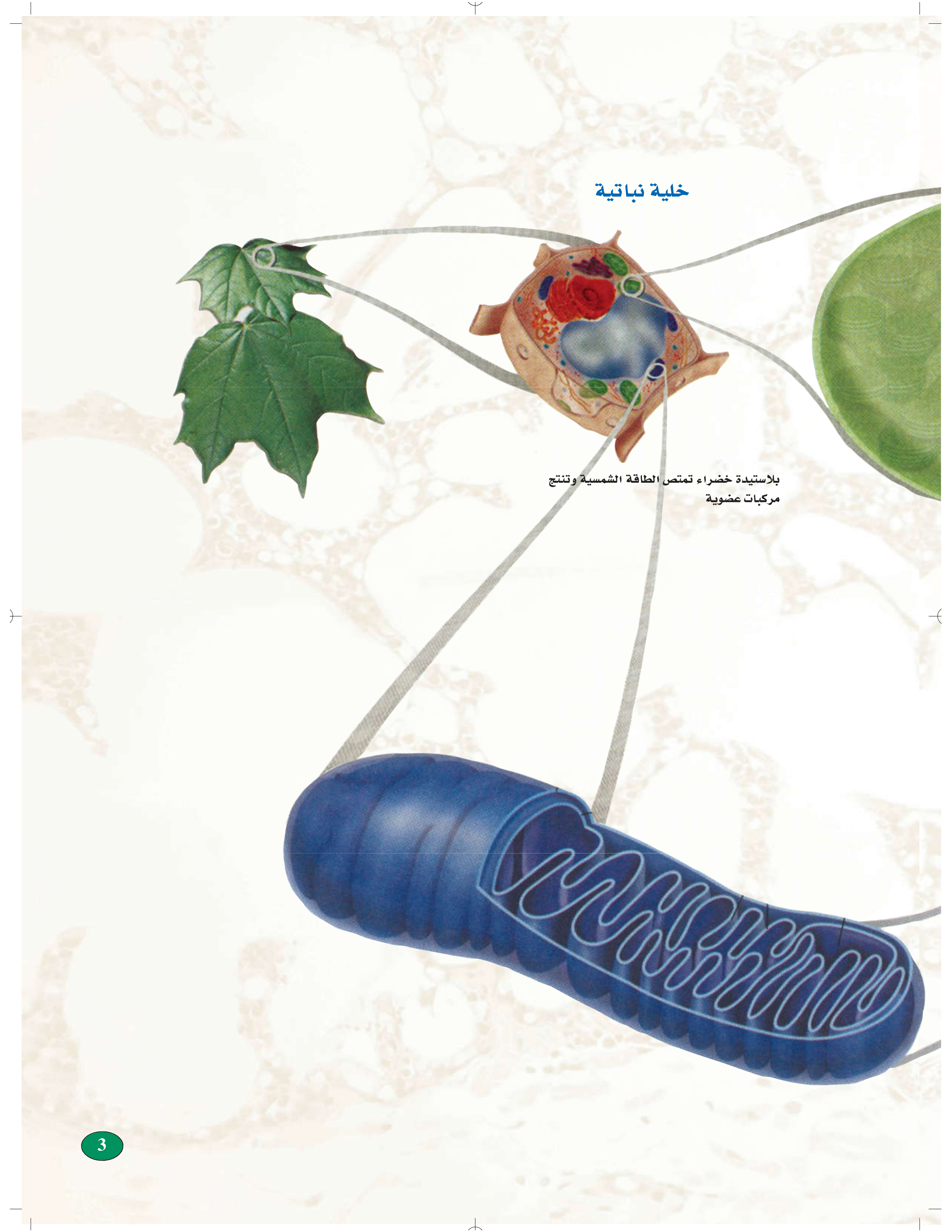






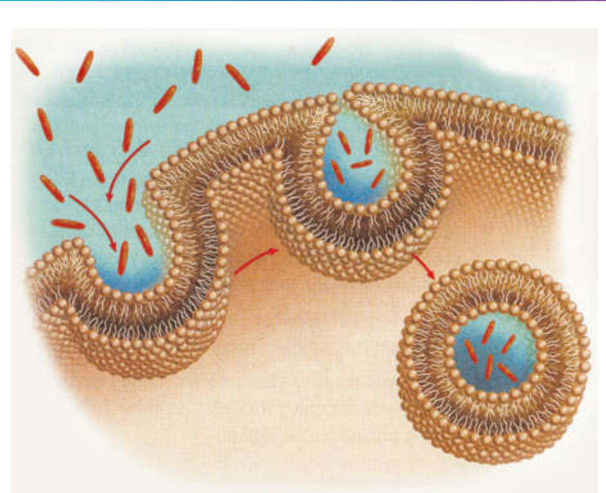
خلية حيوانية

تحدث عملية التنفس الخلوي في المايتوكوندريا وذلك لتحرير الطاقة

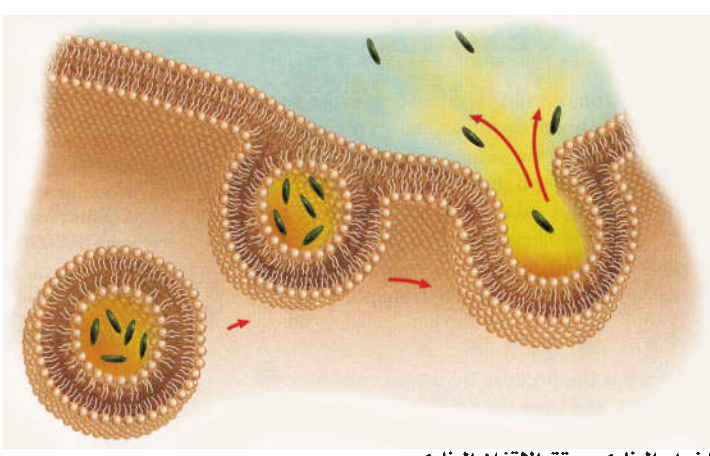

خلية نباتية
بلاستيدة خضراء تمتص الطاقة الشمسية وتنتج
مركبات عضوية

# الفصـــل 1

# الاتِّزانُ الداخليُّ والنقل



الإدخال الخلوي يحقق الاتزان الخلوي.



الإخراج الخلوي يحقق الاتزان الخلوي.



**المفهومُ الرئيس:** الثباتُ والاتزانُ الداخليّ

لاحظْ، وأنتَ تقرأُ، الطرقَ التي تعتمدُها الخلايا في تنظيمِ حركةِ الموادِّ عبرَ أغشيتِها، للحفاظِ على التوازنِ الداخليِّ برغمِ التغيُّراتِ في محيطِها البيئي.

القسم

1-1

## مؤشراتُ الأداء

▲ يوضحُ كيفيةَ تحقيقِ التوازنِ بواسطةِ الانتشارِ.

● يميّزُ بين الانتشارِ والأسموزية.

■ يوضحُ كيف تعبرُ الموادُّ الغشاءَ الخلويَّ من خلالِ الانتشارِ الميسَّرِ.

◆ يبيّنُ كيف تساعدُ القنواتُ الأيونيةُ الأيوناتِ على عبورِ الغشاءِ الخلوي.

# النقلُ غيرُ النَّشِط

تقومُ الأغشيةُ الخلويةُ بمساعدةِ الكائناتِ الحيَّةِ على الحفاظِ على الاتزانِ الداخلي، من خلالِ المراقبةِ والتحكّمِ بالموادِّ التي يمكنُها دخولُ الخلايا أو مغادرتُها. يُمكنُ لبعضِ الموادِّ أن تعبُرَ الغشاءَ الخلويَّ دونَ أن تستخدِمَ الخليةُ الطاقة. وتُسمّى حركةُ هذه الموادِّ عبر الغشاءِ الخلويِّ **النقلَ غيرَ النَّشِط** **Passive transport**.

## الانتشار

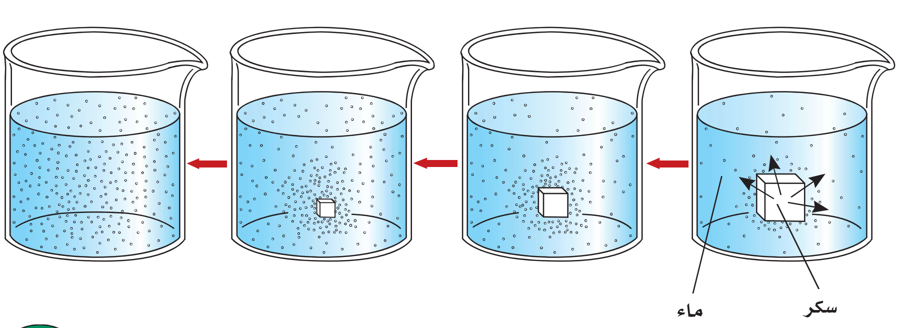
**الانتشارُ Diffusion** هو النوعُ الأبسطُ من النقلِ غيرِ النَّشِط، ويعني انتقالَ الجزيئاتِ من منطقةٍ ذاتِ تركيزٍ أعلى إلى أخرى ذاتِ تركيزٍ أقلّ، ويسمّى هذا الفارق في درجةِ تركيزِ الجزيئاتِ في حيّزٍ معيَّنٍ **منحدَرَ التركيزِ Concentration gradient**.

لاحظْ ما يحدثُ عندما تقومُ بإضافةِ مكعبٍ من السكّرِ إلى كوبٍ منَ الماء. فكما يظهرُ في الشكل 1-1، يغوصُ مكعبُ السكّرِ حتى قاعِ الكوب. من شأن ذلك أن يجعلَ تركيزَ جزيئاتِ السكّرِ أعلى بكثيرٍ عند قاعِ الكوبِ من تركيزِهِ في أعلاه. فما إن يبدأُ مكعبُ السكرِ في الذوبانِ حتى تبدأَ الجزيئاتُ في الانتشارِ ببطءٍ في الماء، منتقلةً من قاعِ الكوبِ إلى أعلاه.

يتحققُ الانتشارُ بكاملِهِ بواسطةِ الطاقةِ الحركيةِ التي تمتلكُها الجزيئاتُ التي تكونُ دائمةَ الحركةِ بسببِ هذهِ الطاقة. وهي تتحركُ عشوائيًّا متنقلةً بصورةٍ مستقيمةٍ إلى أن تصطدمَ بجسمٍ ما، كجزيءٍ آخرَ أو جدارِ الكوب، فترتدُّ وتتحركُ في اتجاهٍ جديد، إنما في خطٍّ مستقيمٍ آخر. وإذا لم يقفْ أيُّ شيءٍ في طريقِها تواصلُ مسارَها. بهذا تميلُ الجزيئاتُ إلى التحركِ مع منحدَرِ التركيزِ الخاصِّ بها، أي من مناطقَ ذاتِ تركيزٍ عالٍ إلى مناطقَ ذاتِ تركيزٍ أقلّ.

### التوازن

في غيابِ أيِّ تأثيراتٍ طارئة، ينتهي الانتشارُ بتحقيقِ الجزيئاتِ للتركيزِ نفسِهِ في كاملِ الحيِّزِ الذي تحتلُّه. فعندما تُحقِّقُ جزيئاتُ مادةٍ معيّنةٍ درجةَ التركيزِ نفسَها في حيِّزٍ محدّدٍ بكاملِه، يتحققُ **التوازنُ Equilibrium**. بالعودةِ إلى المثالِ الظاهرِ في الشكل 1-1، في حالِ عدمِ تحريكِ كوبِ الماء، تصبحُ درجةُ تركيزِ جزيئاتِ السكّرِ هي نفسَها في كاملِ الكوب. وعندها يتحققُ التوازنُ في تركيزِ السكّر.




**الشكل 1-1**
جزيئاتُ السكرِ ذاتُ التركيزِ العالي، عند قاعِ الكوب، ستتحركُ بصورةٍ عشوائيّةٍ بواسطةِ عمليةِ الانتشار. عندَ تحقيقِ التوازن، يصبحُ التركيزُ واحدًا في كاملِ الكوب. والانتشارُ يحدثُ بصورةٍ طبيعيةٍ بحكمِ الطاقةِ الحركيةِ التي تمتلكُها الجزيئات.

من المهمِّ أن نفهمَ أن الحركةَ العشوائيةَ للجزيئاتِ ستتواصلُ حتّى في ظلِّ التوازن. لكن، بحكمِ عدمِ وجودِ منحدرِ التركيز، يُرَجَّحُ أن تتحركَ الجزيئاتُ في اتجاهٍ واحدٍ أو في أيِّ اتجاه، وهذه الحركاتُ العشوائيةُ لكثيرٍ من الجزيئات، في اتجاهاتٍ عدة، تُحقِّقُ توازنًا بين الجزيئاتِ، وتحافظُ عليه.

## الانتشارُ عبرَ الأغشية

لقد تعلمتَ في الصفِّ العاشر، الفصل 3، أن الأغشيةَ الخلويةَ تسمحُ بعبورِ بعضِ الموادِّ دون غيرِها. فإذا كان باستطاعةِ جزيءٍ أن يمرَّ عبرَ غشاءٍ خلويٍّ، فإنه سينتشرُ من منطقةٍ ذاتِ تركيزٍ عالٍ، عند جهةٍ من الغشاء، إلى منطقةٍ أقلَّ تركيزًا عندَ الجهةِ الأخرى للغشاء.

تعتمدُ قدرةُ الجزيءِ على الانتشارِ عبرَ غشاءٍ خلويٍّ على حجمِ الجزيءِ ونوعِه، وعلى الطبيعةِ الكيميائيةِ للغشاء. وقد مرَّ بك، في الصفِّ العاشر، الفصل 3، أن الغشاءَ مكوَّنٌ، في جزءٍ منه، من طبقةٍ دهنيةٍ مزدوجة، وأن بعضَ البروتيناتِ قادرةٌ على تكوينِ ثقوبٍ في الغشاء. الموادُّ اللاقطبيةُ التي تذوبُ في الدهون، تمرُّ عبرَ الغشاءِ عن طريقِ الانتشار. على سبيلِ المثال، ثاني أكسيدِ الكربون والأكسجينُ اللاقطبيان اللذان يذوبانِ في الدهونِ يمرّانِ عن طريقِ الانتشار، أما الجزيئاتُ الصغيرةُ جدًّا التي لا تذوبُ في الدهون فقد تنتشرُ عبرَ الغشاءِ عن طريقِ الانتقالِ من خلالِ ثقوبِه.

## الأُسموزية

تذكَّرْ أن المحلولَ يتكونُ من مادةٍ مذابةٍ ومادةٍ مُذيبة. ففي محلولِ السكَّرِ الآنفِ الذكر، تمثلت المادةُ المذابةُ في السكر، أما المُذيبُ فتمثَّلَ في الماء، وكما أن جزيئاتِ المادةِ المُذابةِ قدِ انتشرتْ عبرَ المُذيب، كذلكَ يمكنُ لجزيئاتِ المُذيبِ أن تنتشرَ هي الأخرى بالنسبةِ للموادِّ المُذابةِ داخلَ الخلايا، فتلكَ الموادُّ هي مركباتٌ عضويةٌ وغيرُ عضوية، والمُذيبُ هو الماء، وعمليةُ انتشارِ جزيئاتِ الماءِ عبرَ غشاءٍ خلويٍّ من منطقةٍ ذاتِ تركيزٍ أعلى للماءِ في اتجاهِ منطقةٍ ذاتِ تركيزٍ أقلّ تسمى **الأُسموزية Osmosis**. بما أن الماءَ يتحركُ مع منحدَرِ التركيز، فإن الأسموزيةَ لا تستوجبُ استهلاكَ الخلايا للطاقة. فالأسموزيةُ إذن نوعٌ من النقلِ غيرِ النشط.

## اتجاهُ الأُسموزية

المحصلةُ النهائيةُ لاتجاهِ الأسموزيةِ تعتمدُ على نسبةِ التركيزِ للموادِّ المذابةِ على جانبَيِ الغشاء. تفحَّصِ الجدول 1-1. عندما يكونُ تركيزُ جزيئاتِ المادةِ المذابةِ خارجَ الخليةِ أقلَّ من التركيزِ في السيتوسول، يكونُ المحلولُ في الخارجِ **منخفضَ التركيز Hypotonic** بالنسبةِ للسيتوسول. وفي هذه الحالة، يواصلُ الماءُ انتشارَهُ إلى داخلِ الخليةِ حتّى يتحققَ التوازن. وعندما يكونُ تركيزُ جزيئاتِ المادةِ المذابةِ خارجَ الخليةِ أعلى من تركيزِها في السيتوسول، يكونُ المحلولُ في الخارجِ **عاليَ التركيز Hypertonic** بالنسبةِ للسيتوسول. وفي هذهِ الحالةِ يواصلُ الماءُ انتشارَهُ إلى خارجِ

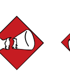
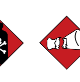


## نشاطٌ عمليٌّ سريع

### ملاحظةُ الانتشار

**الموادّ** قُفّازاتٌ صالحةٌ للاستعمالِ لمرةٍ واحدة، معطفُ مختبر، نظاراتٌ واقية، كأسٌ سعة 600 mL، أنبوبُ فصلٍ غشائي 25 cm Dialysis tubing، محلولُ نشاء 15 mL (10%)، 20 قطرةً من يوديدِ البوتاسيوم اليوديِّ IKI، 300 mL من الماء، مخبارٌ مدرَّج، خيطٌ 20 cm (عدد 2).

**الإجراء**

1. البسِ القُفّازات، ومعطفَ المختبر، والنظارةَ الواقية.
2. صبَّ الـ 300 mL من الماءِ في الكأسِ سعةِ الـ 600 mL.
3. أضفِ الـ 20 قطرةً من IKI إلى الماء.
4. افتحْ أنبوبَ الفصلِ الغشائي، واربطْ جيدًا أحدَ طرفَيْهِ بخيط.
5. بواسطةِ القمع، صبَّ الـ 15 mL من محلولِ النشاء (10%) في أنبوبِ الفصلِ الغشائي.
6. أحكِمْ ربطَ الطرفِ الآخرِ لأنبوبِ الفصلِ الغشائيِّ بالخيطِ الثاني، صارَ لديكَ الآنَ كيسٌ محكَمُ الغلقِ يحتوي على محلولِ النشاء.
7. ضعِ الكيسَ في المحلولِ الموجودِ في الكأسِ ولاحظْ أيَ تغيُّرٍ في اللون.

**التحليل** ماذا حدثَ للَّونِ داخلَ الكيس؟ ماذا حدثَ للونِ الماءِ الذي يحيطُ بالكيس؟ اشرحْ ملاحظاتِك.

## الجدولُ 1-1 اتجاهُ الأسموزية

| الشرط | الانتشارُ الصافي للماء | |
|---|---|---|
| المحلولُ في الخارجِ منخفضُ التركيزِ بالنسبةِ للسيتوسول. | إلى داخلِ الخلية | ماء ← → ماء |
| المحلولُ في الخارجِ عالي التركيزِ بالنسبةِ للسيتوسول. | إلى خارجِ الخلية | ماء ← → ماء |
| المحلولُ في الخارجِ متساوي التركيزِ بالنسبةِ للسيتوسول | (لا شيء) انتشارٌ في الاتجاهين بشكلٍ متساوٍ | ماء ⇄ ⇄ ماء |

الخليةِ حتّى يتحققَ التوازن. وعندما يتساوى تركيزُ الموادِّ المُذابة، خارجَ الخليةِ وداخلَها، يوصفُ المحلولُ الخارجيُّ بأنه **متساوي التركيز Isotonic** بالنسبةِ للسيتوسول. في ظلِّ هذهِ الظروف، ينتشرُ الماءُ في اتجاهِ خارجِ الخليةِ وإلى داخلِها بنسبٍ متساوية، وبهذا لا يكونُ هناك أيُّ انتشارٍ أو تحرُّكٍ واضحٍ للماء.

## كيفَ تتعاملُ الخلايا مع الأسموزية

عادةً، لا تجدُ الخلايا التي تواجهُ محيطًا خارجيًّا متساويَ التركيز أيَّ صعوبةٍ في الحفاظِ على توازنِ حركةِ الماءِ عبر أغشيتِها الخلوية. هذهِ هي الحالُ بالنسبةِ لخلايا الحيواناتِ الفقاريةِ التي تعيشُ على اليابسةِ، وبالنسبةِ لمعظمِ الكائناتِ الحيةِ الأخرى التي تعيشُ في البحار.

وفي المقابل، تعيشُ خلايا كثيرةٌ في محيطٍ بيئيٍّ منخفضِ التركيز، كما هي حالُ الكائناتِ الحيةِ أحاديةِ الخليةِ التي تعيشُ في المياهِ العذبة، حيثُ ينتشرُ الماءُ باستمرارٍ داخلَها. وبما أن الكائناتِ الحيةَ أحاديةَ الخليةِ تتطلبُ تركيزًا للماءِ منخفضًا نسبيًّا في السيتوسول كي تعملَ بصورةٍ طبيعية، فإنه يلزمُها أن تتخلصَ من الماءِ الفائضِ الذي يدخلُ إليها عن طريقِ الأسموزية. فبعضُها، كالبراميسيوم الظاهرِ في الشكل 1-2، يحققُ ذلك عن طريقِ **الفَجَواتِ المنقبضة Contractile vacuoles**، وهي عُضَيّاتٌ تقومُ بالتخلصِ من الماءِ الزائد، فتجمعُهُ ثم تنقبضُ فتضخُّهُ إلى خارجِ الخلية. وبخلافِ الانتشارِ والأسموزية، تتطلبُ عمليةُ الضخِّ هذه استهلاكًا للطاقةِ من قِبَلِ الخلية. وهناكَ خلايا أخرى، من ضمنها الكثيرُ من خلايا الكائناتِ الحيةِ عديدةِ الخلايا، تستجيبُ لمحيطٍ بيئيٍّ منخفضِ التركيزِ عن طريقِ ضخِّ الموادِّ الذائبةِ إلى خارجِ السيتوسول، ومن شأنِ هذا أن يخفضَ تركيزَ المادةِ المذابةِ في السيتوسول ويجعلَهُ أقربَ إلى تركيزِها في المحيطِ البيئي.

**الشكل 1-2**
البراميسيوم الظاهرُ أدناه، يعيشُ في المياهِ العذبةِ المنخفضةِ التركيز بالنسبةِ للسيتوسول الخاصِّ بها. (أ) الفجواتُ المنقبضةُ تجمعُ الماءَ الفائضَ الذي ينتقلُ إلى داخل السيتوسول عن طريقِ الأسموزية. (ب) بعدئذ، تنقبضُ الفجواتُ فتعيدُ الماءَ إلى خارجِ الخلية. (315×)

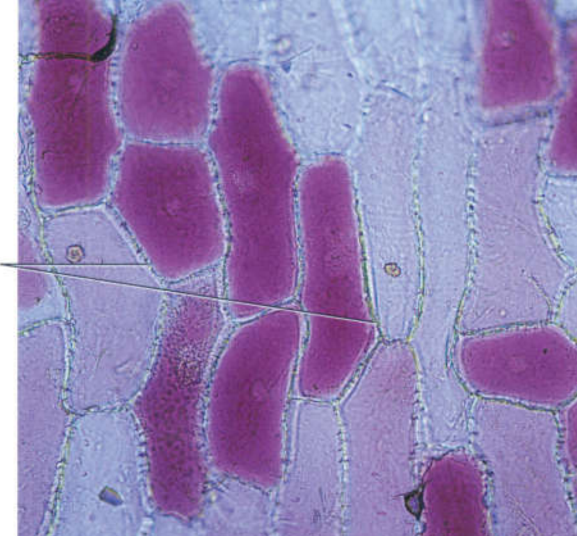
(أ) تعبئةُ الفجوة بالماء



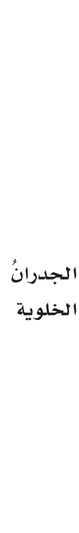
(ب) انقباضُ الفجوة

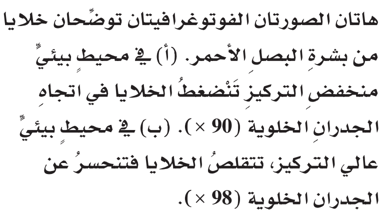


(أ) منخفضُ التركيز



(ب) عالي التركيز



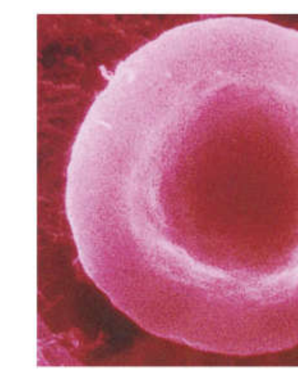
**الشكل 1-3**
هاتان الصورتان الفوتوغرافيتان توضّحان خلايا من بشرةِ البصلِ الأحمر. (أ) في محيطٍ بيئيٍّ منخفضِ التركيزِ تَنْضغطُ الخلايا في اتجاهِ الجدرانِ الخلوية (90 ×). (ب) في محيطٍ بيئيٍّ عالي التركيز، تتقلصُ الخلايا فتنحسرُ عن الجدرانِ الخلوية (98 ×).

ونتيجةَ لذلك، ينخفضُ احتمالُ انتشارِ جزيئاتِ الماءِ في اتجاهِ داخلِ الخلية، خاصةً إذا علمنا أنَّ خلايا النباتِ تعيشُ في معظمِ الحالات، في محيطٍ بيئيٍّ منخفضِ التركيز. وفي الواقع، يمكنُ لخلايا الجذورِ أن تكونَ محاطةً بالماءِ الذي ينتقلُ عن طريقِ الأسموزية، إلى داخلِ خلايا النبتةِ، فتنتفخُ شيئًا فشيئًا مع تعبئتِها بالماء. ويتوقفُ الانتفاخُ عندما ينضغطُ الغشاءُ الخلويُّ نحو الجانبِ الداخلِي للجدارِ الخلوي، كما يظهرُ في الشكل 1-3 أ، والجدارُ الخلويُّ قويٌّ بما يكفي لمقاومةِ ضغطِ الماءِ داخلَ الخليةِ المتمددة. إن ضغطَ جزيئاتِ الماءِ على الجدارِ الخلويّ يسمَّى **ضغطَ الامتلاء Turgor pressure**.

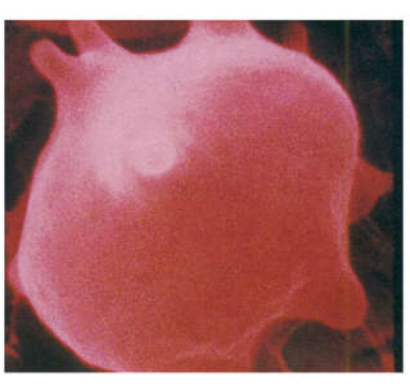
في المحيطِ البيئيِّ عالي التركيز، يخرجُ الماءُ من الخلايا بواسطةِ الأسموزية. فتنكمشُ الخلايا، مبتعدةً عن الجدرانِ الخلوية، كما يظهرُ في الشكل 1-3 ب، فيزولُ ضغطُ الامتلاء، وهذا الوضعُ يسمّى **البلزمة Plasmolysis**. والبلزمةُ هي السببُ الذي يجعلُ النباتاتِ تعطشُ وتذبلُ ما لم تحصُلْ على ما يكفي من الماء.

بعضُ الخلايا لا تستطيعُ تعويضَ التغيّراتِ التي تحدثُ في تركيزِ المادةِ المذابةِ في محيطِها البيئي. على سبيلِ المثال، خلايا الدمِ الحمراءُ، لدى الإنسان، تفتقرُ إلى الفجواتِ المنقبضةِ وإلى مضخاتِ الموادِّ المذابة وإلى الجدرانِ الخلوية. فكما ترى في الشكل 1-4، تفقدُ هذه الخلايا شكلَها الطبيعيَّ عندما توضَعُ في محيطٍ بيئيٍّ غيرِ

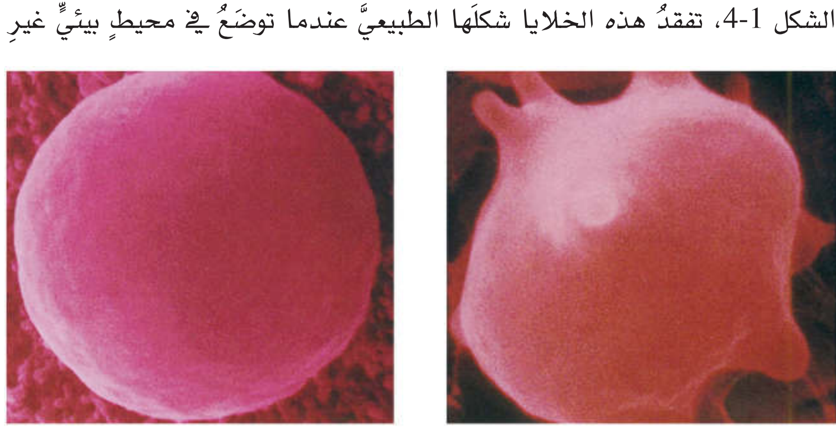
**الشكل 1-4**
(أ) في محيطٍ بيئيٍّ متساوي التركيزِ بالنسبةِ للسيتوسول، تحافظُ خليةُ دمٍ حمراءَ لدى الإنسانِ على شكلِها الطبيعيِّ، فتكونُ مستديرةً ومقعرةَ الوجهين (37,125 ×). (ب) في محيطٍ بيئيٍّ عالي التركيز، تفقدُ الخليةُ الماءَ ويتجعدُ غشاؤُها (39,762 ×). (ج) في محيطٍ بيئيٍّ منخفضِ التركيزِ تكسبُ الخلايا الماءَ وتنتفخ (37,125 ×).



(أ) متساوي التركيز



(ب) عالي التركيز



(ج) منخفض التركيز

متساوي التركيزِ مع السيتوسول الخاصِّ بها. في المحيط البيئيِّ المرتفعِ التركيز، يخرجُ الماءُ من هذه الخلايا، مما يجعلُها تتقلصُ وتتجعد. وفي المحيطِ البيئيِّ المنخفضِ التركيز، ينتشرُ الماءُ داخلَ هذهِ الخلايا فيجعلُها تنتفخ، وفي النهاية تنفجر. وهذا ما يسمّى **تحلُّلَ الخليةِ Cytolysis**.

## الانتشارُ الميسَّر

هناك نوعٌ آخرُ من النقلِ غيرِ النشطِ يسمّى **الانتشارَ الميسَّر Facilitated diffusion**. تُستخدَمُ هذهِ العمليةُ بالنسبةِ للجزيئاتِ التي لا يمكنُها أن تنتشرَ بسرعةٍ عبرَ الأغشيةِ الخلوية، حتى في حالِ توفرِ منحدرِ التركيزِ عبرَ الغشاء. هذه الجزيئاتُ قد لا تكونُ قابلةً للذوبانِ في الدهون، كما أنه يمكنُها أن تكونَ ذاتَ حجمٍ كبيرٍ جدًّا يمنعُها من المرورِ عبرَ ثقوبِ الغشاء. في الانتشارِ الميسَّر، تقومُ بروتيناتٌ خاصةٌ، متواجدةٌ في الغشاء، بمساعدةِ انتقالِ هذهِ الأصنافِ من الجزيئاتِ عبرَ الغشاءِ الخلوي. وهذه البروتيناتُ تسمّى **البروتيناتِ الناقلة Carrier proteins**.

إن البروتيناتِ الناقلةَ التي تعملُ على الانتشارِ الميسَّر، تنقلُ الجزيئاتِ من منطقةٍ ذاتِ تركيزٍ أعلى، عند جانبٍ من الغشاء، إلى منطقةٍ ذاتِ تركيزٍ أدنى عند الجانبِ الآخرِ للغشاء. وبما أن هذه الجزيئاتِ تنتقلُ في اتجاهٍ مع منحدرِ تركيزِها، فإن الانتشارَ الميسَّرَ يمثلُ نقلاً غيرَ نشط. ولا يلزمُ الخليةَ الامدادُ بطاقةٍ إضافيةٍ لتحقيقِ ذلك.

الشكل 1-5 يبينُ نموذجًا للطريقةِ التي يُعتقَدُ بأن الانتشارَ الميسَّر يعملُ وفقًا لها. بالاستنادِ إلى النموذجِ ذاتِه، يرتبطُ البروتينُ الناقلُ والجزيءُ الذي ينقلُه هذا البروتين. وحالما يتحققُ ربطُ البروتينِ الناقلِ بالجزيء، يغيرُ البروتينُ الناقلُ من شكلِه. هذا الشكلُ المعدَّلُ قد يقي الجزيءَ من القسمِ الكارهِ للماءِ داخلَ الطبقةِ الدهنيةِ المزدوجةِ للغشاءِ الخلوي. بعدها، يصبحُ في الإمكانِ نقلُ الجزيءِ عبرَ الغشاءِ الخلوي. عندَ الجانبِ الآخرِ للغشاء، يتمُّ تحريرُ الجزيءِ من البروتينِ الناقلِ الذي يعودُ بدورِه إلى شكلِهِ الأصلي.

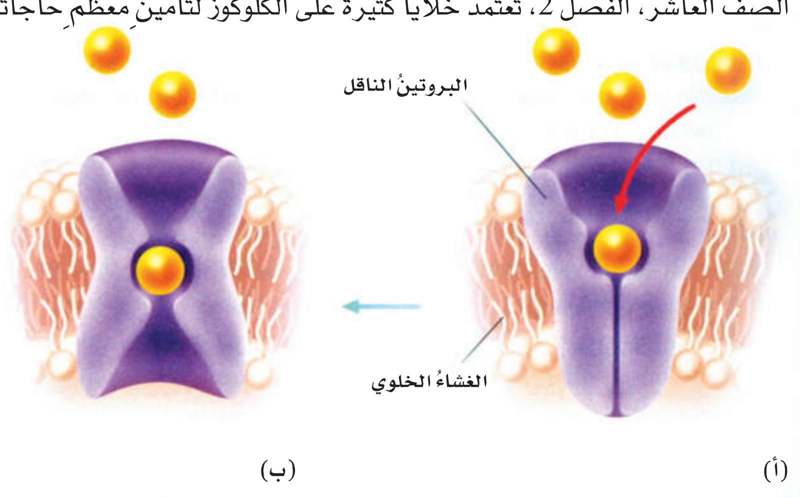
إن عمليةَ نقلِ الكلوكوز هي مثلٌ جيدٌ على الانتشارِ الميسَّر. فطبقًا لما تعلمتَهُ في الصفِّ العاشر، الفصل 2، تعتمدُ خلايا كثيرةٌ على الكلوكوز لتأمينِ معظمِ حاجاتها

### جذرُ الكلمةِ وأصلُها

**تحلُّلُ الخلية**

**cytolysis**

منَ اليونانيةِ sotyk ومعناها «وعاءٌ أجوف»، و lysis ومعناها «تحلُّل»




**الشكل 1-5**
يتمُّ الانتشارُ الميسَّرُ وُفقًا لثلاث خُطُوات هي (أ) الربطُ بينَ البروتين الناقل والجزيء عند جانبٍ من الغشاء الخلوي. (ب) تغييرُ البروتين الناقل لشكله. (ج) تحريرُ الجزيء عندَ الجانبِ الآخر للغشاء.

من الطاقة. إلا أن جزيئاتِ الكلوكوز كبيرةٌ جدًّا مما لا يمكِّنُها من الانتشارِ بسرعةٍ عبرَ الأغشيةِ الخلويةِ. عندما يكونُ منسوبُ الكلوكوز داخلَ خليةٍ أدنى منه خارجَها، تقومُ البروتيناتُ الناقلةُ بتسريعِ حركةِ الكلوكوزِ في اتجاهِ الدخولِ إلى الخلية.

يوضحُ نقلُ الكلوكوز خاصّتينِ مهمَّتَيْنِ للانتشارِ الميسَّر، الأُولى: أنه يمكنُ للانتشارِ الميسَّرِ أن يساعدَ الموادَّ على الانتقالِ إلى داخلِ أو خارجِ الخليةِ بحسبِ منحدَرِ التركيز. لهذا، عندما يكونُ منسوبُ الكلوكوز داخلَ الخليةِ أعلى منه خارجَها، يسرِّعُ الانتشارُ الميسَّر انتشارَ الكلوكوز نحو خارجِها. الثانية: أن البروتيناتِ الناقلةَ المعنيَّةَ بالانتشارِ الميسَّر مخصَّصة، كلٌّ منها لنوعٍ معيَّنٍ من الجزيئات. فعلى سبيلِ المثال، إن البروتينَ الناقلَ الذي يساعدُ على انتشارِ الكلوكوز وسكرياتٍ بسيطةٍ أخرى لا يساعدُ على انتشارِ الأحماضِ الأمينية.

## الانتشارُ عبرَ القنواتِ الأيونية

يوجدُ نوعٌ آخرُ من النقلِ غيرِ النشطِ يتطلبُ وجودَ بروتيناتٍ غشائيةٍ تعرفُ باسمِ **القنواتِ الأيونية Ion channels**. فالأيوناتُ، أمثالُ الصوديوم ($Na^{+}$)، والبوتاسيوم ($K^{+}$)، والكالسيوم ($Ca^{2+}$)، والكلوريد ($Cl^{-}$)، مهمةٌ لوظائفَ خلويةٍ متنوعة. إلا أن هذه الأيوناتِ لا يمكنُها الانتشارُ عبرَ الطبقةِ الدهنيةِ المزدوجةِ دونَ مساعدة، لأنَّها غيرُ قابلةٍ للذوبانِ في الدهون. تؤمِّنُ القنواتُ الأيونيةُ ممراتٍ صغيرةً عبرَ الغشاءِ الخلويِّ يمكنُ للأيوناتِ أن تمرَّ عبرَها. وفي العادةِ يكونُ كلُّ نوعٍ من القنواتِ الأيونيةِ مخصصًا لنوعٍ واحدٍ من الأيونات، لهذا تسمحُ معظمُ قنواتِ أيونِ الصوديوم ($Na^{+}$) لأيوناتِ الصوديوم بأن تجتازَها، ولا تسمحُ بذلك لأيوناتِ الكالسيوم ($Ca^{2+}$) والكلوريد ($Cl^{-}$).

بعضُ القنواتِ الأيونيةِ مفتوحةٌ باستمرار، وقنواتٌ أخرى لها بواباتٌ تنفتحُ للسماحِ للأيوناتِ بالعبور، أو تنغلقُ لوقفِ عبورِها. ويمكنُ للبواباتِ أن تنفتحَ أو تنغلقَ استجابةً لثلاثةِ أصنافٍ من المثيراتِ هي: (أ) تمددُ الغشاءِ الخلوي، أو (ب) المثيراتُ الكهربائية، أو (ج) الموادُّ الكيميائيةُ المتواجدةُ في السيتوسول أو في المحيطِ البيئيِّ الخارجي. إذن، هذه المثيراتُ تضبطُ إمكانيةَ عبورِ أيوناتٍ محدَّدةٍ عبرَ الغشاءِ الخلوي.

### صلةٌ بالبيئة

**تنقيةُ الماءِ بواسطةِ الأغشية**

إن ميلَ جزيئاتِ الماءِ إلى الانتشارِ عبرَ الأغشيةِ قد يستخدَمُ في استخراجِ الماءِ النقيِّ من مزيجٍ من الموادِّ المذابةِ والماء. إذا تمَّ فصلُ محلولٍ ذي تركيزٍ مخفَّفٍ عن محلولٍ أكثرَ تركيزًا بواسطةِ غشاءٍ ذي نفاذيةٍ اختيارية، فلا بدَّ أن تنشُطَ الأُسموزية، لأن جزيئاتِ الماءِ ستنتشرُ بدءًا من المحلولِ المخفَّفِ إلى المحلولِ المُركَّز. إلاّ أن العكسَ سيحدثُ إذا تعرَّضَ المحلولُ المركَّزُ إلى ما يكفي من الضغطِ الخارجيِّ: ستنتشرُ جزيئاتُ الماء بدءًا من المحلولِ المركَّزِ إلى المحلولِ المخفف. هذه العمليةُ تسمى «الأُسموزيةَ العكسية» Reverse osmosis. وهي تنقلُ معظمَ الماءِ وبفاعليةٍ إلى جهةٍ واحدةٍ من الغشاءِ فيما تتركُ معظمَ الموادِّ المذابةِ عند الجهةِ الأخرى. وقد جرى تطويرُ الأُسموزيةِ العكسيةِ لمحطاتِ إزالةِ الملحِ من المياهِ المالحة، حيثُ يتمُّ إنتاجُ المياهِ العذبةِ من مياهِ البحر. وهي تُستخدمُ حاليًّا في تنقيةِ المياهِ الملوَّثةِ التي تتنوعُ مصادرُها ومن ضمنِها المصانع. بعدَ تنقيةِ المياهِ الملوثةِ الآتيةِ من تلكَ المصادر، وبالاعتمادِ على الأُسموزيةِ العكسية، تصبحُ تلكَ المياهُ نظيفةً بما فيه الكفايةُ لإعادتِها بأمانٍ إلى المحيطِ البيئيّ.

### مراجعةُ القسم 1-1

1. إلامَ يقودُ الانتشارُ في النهاية، في غيابِ مؤثراتٍ أخرى؟
2. ما علاقةُ الأسموزيةِ بالانتشار؟
3. إذا كان تركيزُ جزيئاتِ موادَّ مذابةٍ منخفضًا، خارجَ خليةٍ معينة، بالنسبةِ لما هوَ عليه في السيتوسول، أيكونُ المحلولُ الخارجيُّ منخفضَ التركيز، أم عاليَ التركيز، بالنسبةِ للسيتوسول؟
4. ما دورُ البروتيناتِ الناقلةِ في الانتشارِ الميسَّر؟
5. ما وجهُ الشبهِ بين الانتشارِ الميسَّرِ والانتشارِ عبرَ القنواتِ الأيونية؟
6. **تفكيرٌ ناقد** مياهُ البحرِ ذاتُ تركيزٍ بالموادِّ المذابةِ أعلى من التركيزِ المماثلِ في خلايا جسمِ الإنسان. لماذا يمكنُ أن يشكلَ شربُ كميةٍ كبيرةٍ من مياهِ البحرِ خطرًا على صحةِ الإنسان؟

القسم

2-1

مؤشراتُ الأداء

▲ يميزُ بين النقل غيرِ النشطِ والنقلِ النشط.

● يوضحُ كيفَ تعملُ مضخَّةُ الصوديوم-بوتاسيوم.

■ يقارنُ بين الإدخالِ الخلويِّ والإخراجِ الخلوي.

# النقلُ النَّشط

في كثيرٍ من الحالات، يلزمُ الخلايا أن تنقلَ موادَّ ضدَّ منحدَرِ التركيز، أي من منطقةٍ ذاتِ تركيزٍ أدنى إلى منطقةٍ ذاتِ تركيزٍ أعلى. هذه الحركةُ الانتقاليةُ للموادِّ تُسمّى **النقلَ النَّشط** Active transport، وهو بخلافِ النقلِ غيرِ النشط، يتطلبُ استخدامَ الخليةِ للطاقةِ .

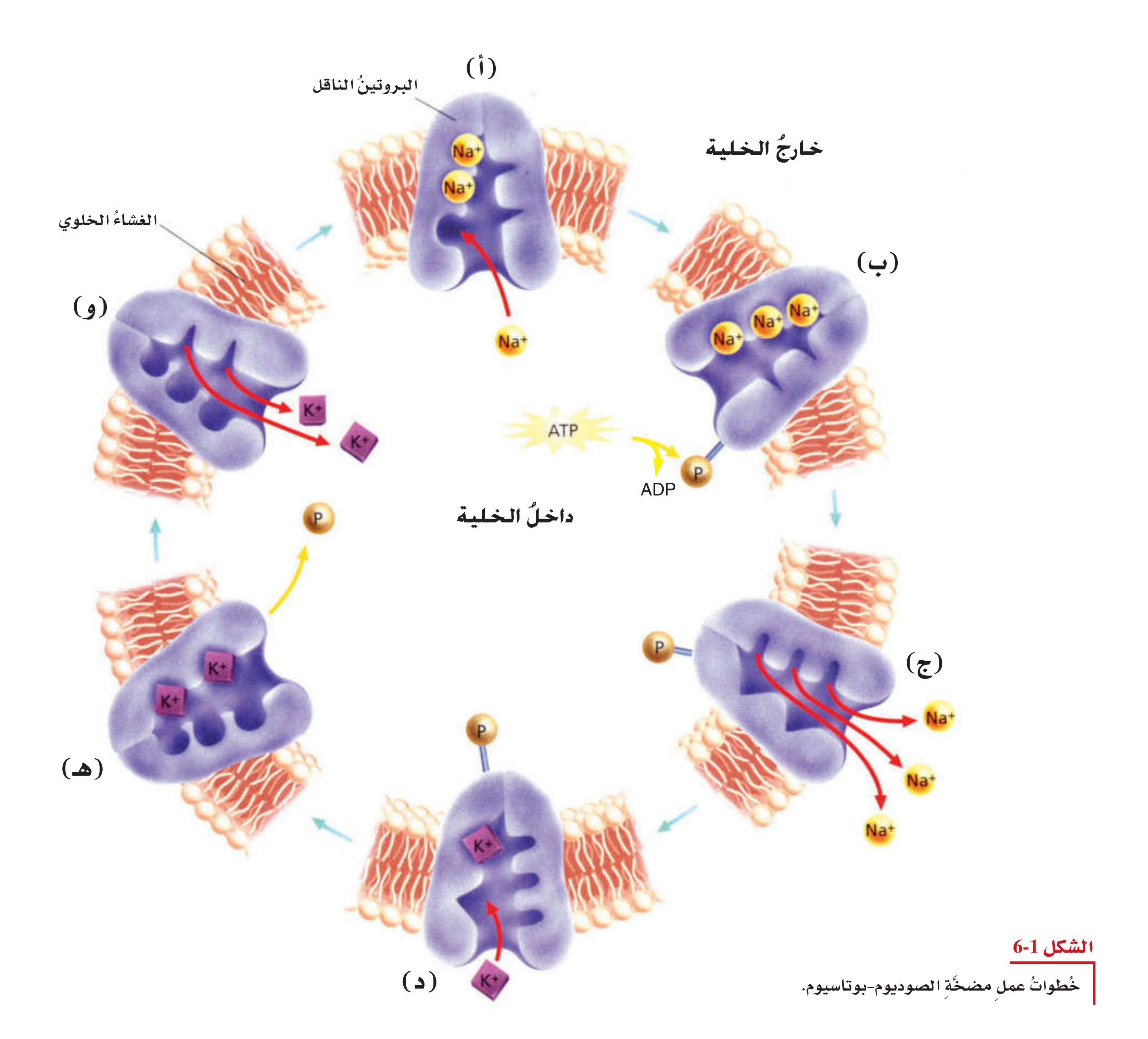
## مِضخّاتُ الغِشاءِ الخلوي

لا تساهمُ البروتيناتُ الناقلةُ في عمليةِ النقلِ غيرِ النشطِ فحسب، بل تساهمُ أيضًا في بعضِ أنواعِ النقلِ النشط، وغالبًا ما تسمّى البروتيناتُ الناقلةُ التي تعملُ في النقلِ النشط، مِضخّاتِ الغِشاءِ الخلوي، لأنها تنقلُ الموادَّ ضدَّ منحدَرِ تركيزِها. ومن ناحيةٍ أخرى توجدُ أوجهُ شبهٍ كثيرةٌ بين البروتيناتِ الناقلةِ المعنيةِ بالانتشارِ الميسَّرِ والبروتيناتِ المعنيةِ بالنقلِ النشط. في الحالتين، يرتبطُ البروتينُ أولاً بنوعٍ محددٍ من الجزيئات عند جهةٍ من الغِشاءِ الخلوي. وحالما يرتبطُ البروتينُ بالجزيءِ يغيرُ البروتينُ في شكلِه. بعد ذلك، يقومُ البروتينُ بنقلِ الجزيءِ عبرَ الغشاءِ ويحررُهُ عند الجهةِ الأخرى.

### مِضخةُ الصوديوم-بوتاسيوم

إن البروتينَ الناقلَ الذي يُسمّى **مِضخةَ الصوديوم-بوتاسيوم Sodium-potassium pump** هو مثالٌ على عناصرَ لها دورٌ في النقلِ النشطِ لدى خلايا الحيوان. وهذا البروتين، يقومُ كما يوحي اسمُهُ، بنقلِ أيوناتِ الصوديوم $Na^+$ وأيوناتِ البوتاسيوم $K^+$، بعكسِ منحدرِ التركيزِ العائدِ لهما. ولكي تعملَ أنواعٌ كثيرةٌ من الخلايا الحيوانيةِ بصورةٍ طبيعية، يجبُ أن تتصفَ بتركيزٍ أعلى لأيوناتِ البوتاسيوم $K^+$ داخل الخلية، وبتركيزٍ أعلى لأيوناتِ الصوديوم $Na^+$ خارجها. وتعملُ مضخةُ الصوديوم-بوتاسيوم على المحافظةِ على هذهِ الفوارقِ في التركيز.

اتبعِ الخطواتِ المبيّنةَ في الشكل 6-1 لتعرفَ كيفَ تعملُ مِضخةُ الصوديوم-بوتاسيوم.




**الشكل 1-6**

خُطواتُ عملِ مضخَّةِ الصوديوم-بوتاسيوم.

تابعْ ما يحدثُ خلالَ دورةٍ واحدةٍ لمضخةِ الصوديوم-بوتاسيوم. (أ) ترتبطُ ثلاثةُ أيوناتِ صوديوم $Na^+$ موجودةٌ في السيتوسول ببروتينٍ ناقل. (ب) تتمُّ إزالةُ مجموعةٍ فوسفاتية، يُمثِّلُها الحرفُ P في الرسمِ التوضيحي، من الأدينوسين ثلاثيِّ الفوسفات ويتمُّ ربطُها بالبروتينِ الناقل. (ج) يؤدي ربطُ المجموعةِ الفوسفاتيةِ بالبروتينِ الناقلِ إلى تغييرٍ في شكلِ هذا البروتين، مما يسمحُ لأيوناتِ الصوديوم $Na^+$ الثلاثةِ بأن تنطلقَ في المحيطِ البيئيِّ للخلية. (د) يرتبطُ أيونا بوتاسيوم $K^+$ ، متواجدانِ خارجَ الخلية، بالبروتينِ الناقل. (هـ) يتمُّ تحريرُ المجموعةِ الفوسفاتية، فيتغيَّرُ شكلُ البروتينِ الناقلِ من جديد. (و) يتمُّ تحريرُ أيوني البوتاسيوم $K^+$ داخلَ السيتوسول، فيصبحُ في الإمكانِ إعادةُ الدورة.

إن مِضخةَ الصوديوم-بوتاسيوم ليست سوى مثالٍ واحدٍ من أمثلةِ مِضخةِ غشاءٍ خلوي. فهناك مِضخاتٌ أخرى تعملُ بطرقٍ مشابهةٍ في نقلِ الموادِّ الأيضيةِ المهمةِ عبرَ الأغشيةِ الخلوية.

# النقل عبر الحُوَيْصِلات

بعضُ الموادّ، أمثالُ الجزيئاتِ العملاقةِ وجزيئاتِ الموادّ الغذائيةِ الكبيرةِ جدًّا التي لا تستطيعُ المرورَ عبرَ الغشاءِ الخلويِّ بطرقِ النقلِ التي درستَها سابقًا، يتمُّ نقلُها باستخدامِ آليتيِّ الإدخالِ الخلويِّ والإخراجِ الخلويّ. والآليتانِ تتطلبانِ معًا قيامَ الخلايا باستهلاكِ الطاقة. لذلك تُعدّانِ من أنواعِ النقلِ النشط.

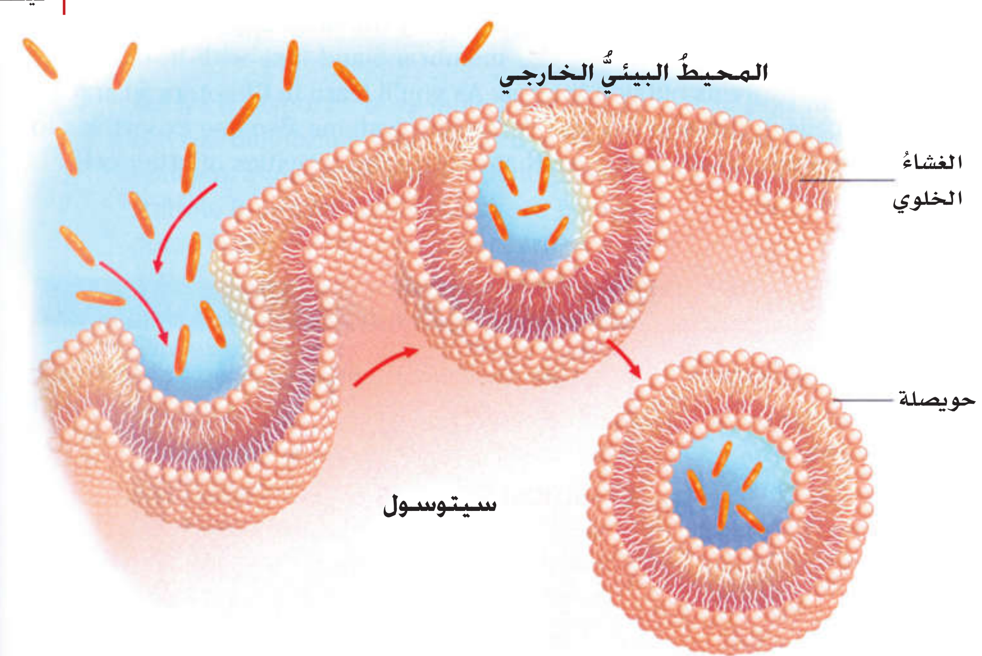
## الإدخالُ الخلوي

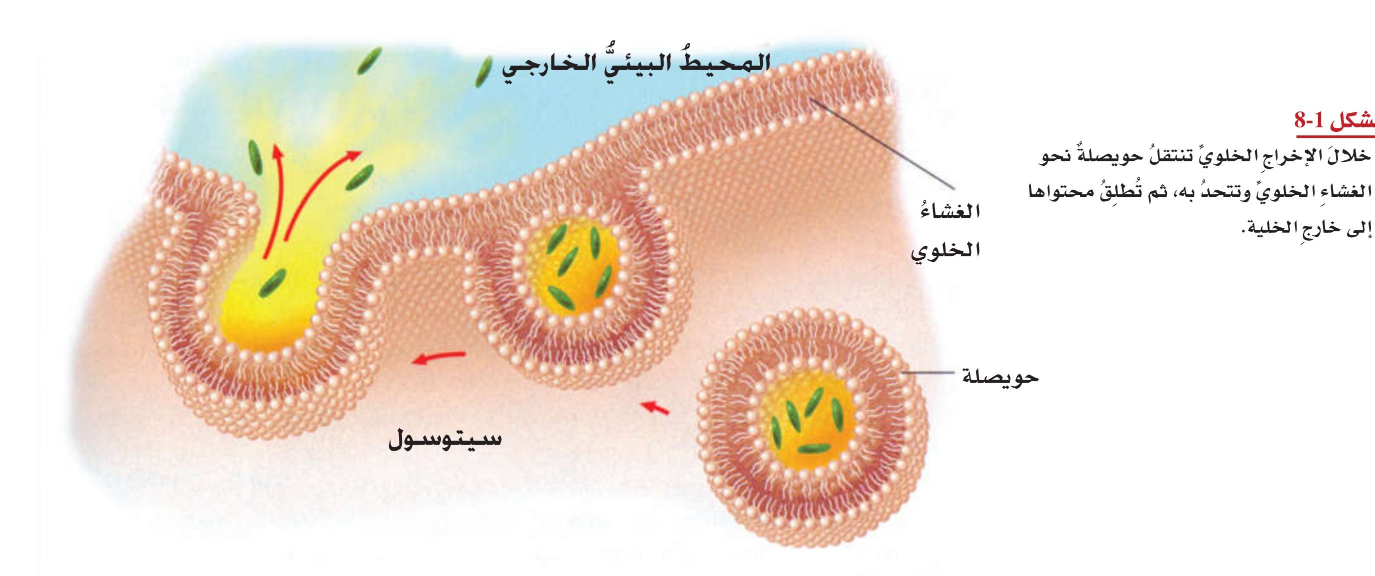
**الإدخالُ الخلوي Endocytosis** هو العمليةُ التي تقومُ بها الخلايا بابتلاعِ سائلٍ خارجيٍّ وجزيئاتٍ عملاقةٍ وجزيئاتٍ كبيرة، ومن ضمنِها خلايا أيضًا. وكما يظهرُ في الشكل 1-7، يحيطُ بهذه الموادِّ الخارجيةِ جزءٌ من الخلية، ينثني على ذاتِهِ مكونًا من حولِها غمدًا. بعدئذ يتخصَّرُ الغمدُ فينفصلُ عن الغشاءِ الخلويِّ ويصبحُ عضيًّا محاطًا بغشاءٍ خلويّ، ويسمى **حُوَيْصِلة Vesicle**. بعضُ الحويصلاتِ تتحدُ بليسوسومات، فيتمُّ هضمُ محتوياتِها بواسطةِ أنزيماتٍ ليسوسومية. وهناك حويصلاتٌ أخرى تتكوّنُ خلال الإدخالِ الخلوي، وتتحدُ بعضيّاتٍ أخرى متصلةٍ بالغشاء.

يميِّزُ علماءُ الأحياءِ، بالاستنادِ إلى صنفِ المادةِ التي يتم إدخالُها في الخليةِ نوعين من الإدخالِ الخلويّ، هما **الارتشاف Pinocytosis**، أي آليةُ نقلِ الموادِّ المذابةِ أو السوائل، و**البلعمة Phagocytosis**، أي نقلُ الجزيئاتِ الكبيرةِ أو خلايا بكاملِها.

يقتاتُ الكثيرُ من الكائناتِ الحيةِ أُحاديةِ الخليةِ عن طريقِ البلعمة. إضافةً إلى ذلك، تعتمدُ بعضُ الخلايا الحيوانيةِ هذه الآليةَ لابتلاعِ البكتيريا والفيروساتِ التي تهاجمُ الجسم. تُعرفُ هذه الخلايا باسمِ **الخلايا البلعمية Phagocytes**، وهي التي

**الشكل 1-7**
خلالَ عمليةِ الإدخالِ الخلويّ، ينثني الغشاءُ الخلويُّ فيشكلُ غمدًا صغيرًا. ثم يتخصَّرُ الغمدُ فينفصلُ عن الغشاءِ الخلويّ ويصبحُ حويصلة.

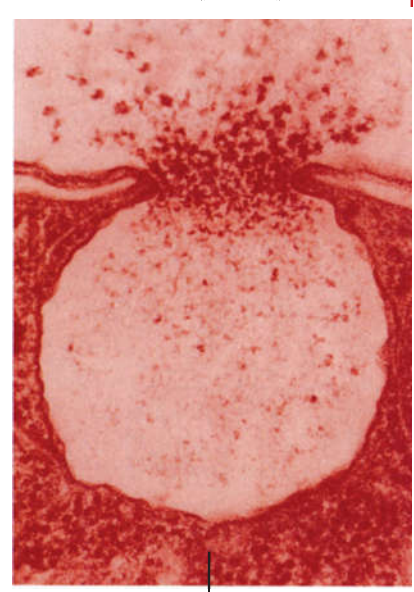





**الشكل 8-1**
خلالَ الإخراجِ الخلويِّ تنتقلُ حويصلةٌ نحو الغشاءِ الخلويِّ وتتحدُ به، ثم تُطلِقُ محتواها إلى خارجِ الخلية.

تسمحُ للّيسوسوماتِ بأن تتحدَ بالحويصلاتِ التي تحتوي على البكتيريا والفيروسات التي جرى ابتلاعُها. بعدئذٍ تقومُ أنزيماتُ الليسوسومِ بتدميرِ البكتيريا والفيروساتِ والأجسامِ الغريبةِ قبل أن تُلحِقَ الضررَ بالحيوان.

**الشكل 9-1**
الحويصلةُ المبيّنةُ هنا اتحدتْ للتوّ بالغشاءِ الخلويّ، وها هي محتويات الحويصلة تدخل المحيطَ البيئيَّ الخارجيَّ للخلية. (71,250 ×)




## الإخراجُ الخلوي

**الإخراجُ الخلويُّ Exocytosis**، المبيّنُ في الشكل 8-1، هو عكسُ الإدخالِ الخلوي. تلتصقُ الحويصلاتُ الموجودةُ في السيتوبلازم بالغِشاءِ الخلويّ، فتطلقُ محتوياتِها داخلَ المحيطِ البيئيِّ الخارجيِّ للخلية، ويسمّى ذلكَ الإخراجَ الخلويّ، الشكل 9-1. يمكنُ للخلايا أن تعتمدَ الإخراجَ الخلويَّ لإطلاقِ جزيئاتٍ كبيرةٍ كجزيئاتِ البروتينات. تذكّر أن البروتيناتِ تُصنَعُ عند الرايبوسومات، ويتمُّ تعديلُها في حويصلاتٍ عن طريقِ جهازِ كولجي. بعدها، تنتقلُ نحوَ الغشاءِ الخلويِّ وتلتصقُ به، فتطلقُ البروتيناتِ في الجانبِ الخارجيِّ الذي يحيطُ بالخلية.

## مراجعةُ القسم 2-1

1. وضّحِ الفرقَ بين النقلِ غيرِ النشطِ والنقلِ النشط.
2. ما الوظيفةُ التي تقومُ بها البروتيناتُ الناقلةُ في النقلِ النشط؟
3. ما الذي يزوّدُ مضخةَ الصوديوم-بوتاسيوم بالطاقةِ اللازمةِ لعملها؟
4. ما الفرقُ بين البلعمةِ والارتشاف؟
5. وضّحْ خُطواتِ الإخراجِ الخلوي.
6. **تفكيرٌ ناقد** خلالَ تمرينٍ رياضيٍّ قاسٍ، يبدأُ البوتاسيوم في التراكمِ في السائلِ الذي يحيطُ بخلايا العضلات. ما البروتيناتُ الغشائيةُ التي تساعدُ خلايا العضلاتِ على مواجهةِ هذا التراكم؟ وضّحْ إجابتَك.

# مراجعةُ الفصل 1

## ملخص / مفردات

**1-1**

- يُعنى النقلُ غيرُ النشطِ بتنقلِ الجزيئاتِ عبرَ الغشاءِ الخلويِّ دون أن تقومَ الخليةُ باستهلاكِ الطاقة.
- الانتشارُ هو حركةُ الجزيئاتِ من منطقةٍ ذاتِ تركيزٍ أعلى إلى منطقةٍ ذاتِ تركيزٍ أدنى، تديرُها الطاقةُ الحركيَّة للجزيئات. وفي النهايةِ يقودُ الانتشارُ إلى تحقيقِ التوازن، وهو ظرفٌ يكونُ فيهِ تركيزُ الجزيئاتِ هو نفسَهُ في كاملِ الحيِّزِ أو عندَ جانبَي الغِشاء.
- يمكنُ للجزيئاتِ أن تنتشرَ عبرَ الغِشاءِ الخلويِّ عن طريقِ الذوبانِ في الطبقةِ الدهنيةِ المزدوجةِ أو عن طريقِ المرورِ عبرَ ثقوبٍ في الغشاء.
- الأُسموزيةُ هي انتشارُ الماءِ عبرَ غِشاء. ويتحددُ الاتجاهُ الواضحُ للأُسموزيةِ من خلالِ نِسبِ التركيزِ للمادةِ المذابةِ عند جانبَي الغشاء.
- عندما يكونُ تركيزُ المادةِ المذابةِ خارجَ الخليةِ أدنى مما هو في السيتوسول، يكونُ المحلولُ المتواجدُ في الخارجِ أقلَّ تركيزًا بالنسبةِ للسيتوسول، وعندها ينتشرُ الماءُ في اتجاهِ داخلِ الخلية.
- عندما تكونُ درجةُ تركيزِ المادةِ المذابةِ خارجَ الخليةِ أعلى مما هي في السيتوسول، يكونُ المحلولُ المتواجدُ في الخارجِ أكثرَ تركيزًا بالنسبةِ للسيتوسول، وعندها ينتشرُ الماءُ نحوَ خارجِ الخلية.
- عندما يكونُ تركيزُ المادةِ المذابةِ خارجَ الخليةِ وداخلَ الخلية متساويًا، يكونُ المحلولُ المتواجدُ خارجَ الخليةِ متساويَ التركيز، ولن تكونَ هناك أيُّ حركةِ انتقالٍ واضحةٍ للماء.
- لتبقى الخلايا على قيدِ الحياةِ يلزمُها أن تسحبَ الماءَ إلى داخلِها إذا كان المحيطُ منخفضَ التركيز، أما إذا كان المحيطُ عاليَ التركيزِ فيلزمُها أن تُخرجَ الماءَ من داخلِها.
- في الانتشارِ الميسَّر، يرتبطُ بروتينٌ ناقلٌ بالجزيءِ عند جانبٍ واحدٍ من الغشاءِ الخلوي. ثم يغيِّرُ البروتينُ في شكلِهِ، فينتقلُ الجزيءُ في اتجاهٍ مع منحدَرِ التركيزِ إلى الجانبِ الآخرِ من الغشاء.
- القنواتُ الأيونيةُ هي بروتيناتٌ توفرُ ممراتٍ صغيرةً عبر الغِشاءِ الخلويِّ، يمكنُ لأيوناتٍ محددةٍ أن تنتشرَ من خلالِها.

### مفردات

| | | |
|---|---|---|
| (6) Osmosis **الأسموزية** | (9) Cytolysis **تحللُ الخلية** | (10) Ion channel **القناةُ الأيونية** |
| (5) Diffusion **الانتشار** | (5) Equilibrium **التوازن** | (7) Isotonic **متساوي التركيز** |
| (9) Facilitated diffusion **الانتشارُ الميسَّر** | (8) Turgor pressure **ضغطُ الامتلاء** | (6) Hypotonic **منخفضُ التركيز** |
| (9) Carrier protein **البروتينُ الناقل** | (6) Hypertonic **عالي التركيز** | (5) Concentration gradient **منحدَرُ التركيز** |
| (8) Plasmolysis **البلزمة** | (7) Contractile vacuole **الفجوةُ المنقبضة** | (5) Passive transport **النقلُ غيرُ النشط** |

**2-1**

- النقلُ النشطُ ينقلُ الجزيئاتِ عبرَ الغِشاءِ الخلويِّ من منطقةٍ ذاتِ تركيزٍ منخفضٍ إلى منطقةٍ ذاتِ تركيزٍ عالٍ. هذه العمليةُ تتطلبُ من الخليةِ استهلاكًا للطاقة.
- بعضُ أنواعِ النقلِ النشطِ يتمُّ بواسطةِ بروتيناتٍ ناقلةٍ تُسمّى مضخاتِ الغشاءِ الخلوي.
- من أمثلةِ مضخةِ الغشاءِ الخلويِّ مضخةُ الصوديوم–بوتاسيوم. فهي تنقلُ ثلاثةَ أيوناتٍ من الصوديوم ($Na^+$) إلى المحيطِ البيئيِّ الخارجيِّ للخليةِ مقابل نقلِها أيونين من البوتاسيوم ($K^+$) إلى داخلِ السيتوسول، ويقومُ الأدينوسينُ ثلاثيُّ الفوسفاتِ بتوفيرِ الطاقةِ اللازمةِ لعملِ المِضخة.
- إن الإدخالَ الخلويَّ والإخراجَ الخلويَّ هما آليتان للنقلِ النشط، يتمُّ من خلالِهما انتقالُ موادَّ كبيرةِ الحجمِ عبرَ الغشاءِ الخلويِّ ضمنَ الحويصلات.
- في الإدخالِ الخلويِّ، ينثني الغشاءُ الخلويُّ بحيثُ يحيطُ بجسمٍ ما في المحيطِ البيئيِّ الخارجي، ويشكلُ غمدًا له. بعد ذلك يتخصَّرُ الغمد وينفصل، فيصبحُ حويصلةً عائمةً في السيتوبلازم. يشملُ الإدخالُ الخلويُّ إدخالَ الموادِ المذابةِ والسوائل، ويكونُ محتوى الحويصلةِ عندئذ موادَّ مذابةً وسوائل، كذلك يشملُ الإدخالُ الخلويُّ إدخالَ موادَّ كبيرةِ الحجمِ أو خلايا كاملة. إذنْ تحتوي الحويصلةُ على جزيئاتٍ كبيرةٍ أو خلايا.
- في الإخراجِ الخلويِّ تلتصقُ الحويصلاتُ التي شكلتْها الخليةُ، بالغِشاءِ الخلويِّ، وتطلِقُ محتوياتِها داخلَ المحيطِ البيئيِّ الخارجي.

### مفردات

| | | |
|---|---|---|
| (14) Exocytosis **الإخراجُ الخلوي** | (13) Phagocytosis **البلعمة** | **مضخةُ الصوديوم–بوتاسيوم** (11) Sodium-potassium pump |
| (13) Endocytosis **الإدخالُ الخلوي** | (13) Vesicle **الحويصلة** | (11) Active transport **النقلُ النشط** |
| (13) Pinocytosis **الارتشاف** | (13) Phagocyte **الخليةُ البلعمية** | |

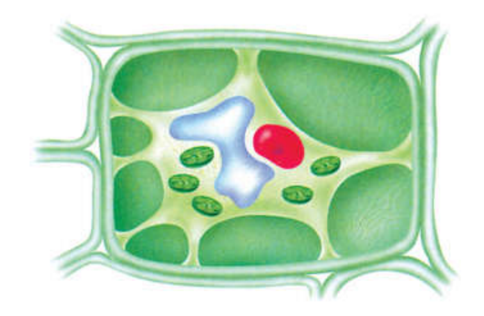
# مراجعة

## مفردات

1. ميّزْ بين الانتشارِ والانتشارِ الميسَّر.
2. ماذا تعني عبارةُ محلولَيْن متساويَيْ التركيز؟
3. ما علاقةُ البلزمةِ بضغطِ الامتلاءِ في الخلايا النباتية؟
4. ما الفجوةُ المنقبضة، وكيفَ تعمل؟

## اختيارٌ من مُتعدِّد

5. خلال عمليةِ الانتشارِ تميلُ الجزيئاتُ إلى الانتقال
   (أ) في اتجاهٍ ضدَّ منحدرِ تركيزِها
   (ب) في اتجاهٍ مع منحدرِ تركيزِها
   (ج) في اتجاهٍ لا يعتمدُ على منحدرِ تركيزِها
   (د) من منطقةٍ ذاتِ تركيزٍ منخفضٍ إلى منطقةٍ ذاتِ تركيزٍ عالٍ.
6. جزءُ الخليةِ الذي يحافظُ على الاتزانِ الداخليِّ للخليةِ بالنسبةِ للمحيطِ البيئيِّ الخارجي هو (أ) السيتوسول (ب) جهازُ كولجي (ج) النواة (د) الغشاءُ الخلوي.
7. القنواتُ الأيونيةُ تسهمُ في انتقال
   (أ) الجزيئاتِ في اتجاهِ مع منحدَرِ تركيزِها
   (ب) البروتيناتِ الناقلةِ داخلَ الطبقةِ الدهنيةِ المزدوجة
   (ج) الأيوناتِ عبرَ الغشاءِ الخلوي
   (د) الماءِ عبرَ الغشاءِ الخلوي.
8. يكونُ دخولُ السكرِ إلى الخليةِ أسرعَ عن طريق
   (أ) الانتشارِ الميسَّر (ب) الأسموزية (ج) الانتشار
   (د) إدخالِ الموادِّ الكبيرةِ إلى الخلية.
9. عندما يكونُ ضغطُ الامتلاءِ منخفضًا في خلايا نباتٍ معيّن،
   (أ) يصبحُ النباتُ صلبًا (ب) يموت (ج) يذبل (د) ينفجر.
10. تقومُ مضخةُ الصوديوم-بوتاسيوم بنقل
   (أ) $Na^+$ إلى داخلِ الخليةِ و $K^+$ إلى خارجِ الخلية
   (ب) $Na^+$ إلى خارجِ الخليةِ و $K^+$ إلى داخلِ الخلية
   (ج) $Na^+$ و $K^+$ معًا إلى داخلِ الخلية
   (د) $Na^+$ و $K^+$ معًا إلى خارجِ الخلية.
11. استهلاكُ الطاقةِ يلزمُ الخليةَ لنقلِ الموادِّ عبرَ استخدام
   (أ) مضخاتِ الغشاءِ الخلوي (ب) الانتشارِ الميسَّر
   (ج) القنواتِ الأيونية (د) الأسموزية.
12. بعضُ الخلايا الحيوانيةِ تبتلعُ البكتيريا التي تجتاحُ الجسمَ فتدمِّرُها وتهضِمُها من خلالِ عملية
   (أ) الإخراجِ الخلوي (ب) البلعمة (ج) الارتشاف
   (د) كلِّ هذه البدائل.
13. البروتيناتُ الناقلةُ مهمةٌ في (أ) عملِ الأسموزية
   (ب) الإدخالِ الخلوي (ج) الانتشار (د) الانتشارِ الميسَّر.
14. يبيّنُ الرسمُ اللاحقُ خليةً نباتيةً بعد تغييرِ نسبةِ تركيزِ الموادِّ المذابةِ في محيطِها البيئيّ الخارجي. إن محيطَها البيئيَ الخارجيَّ الجديد (أ) متساوي التركيز (ب) عالي التركيز
   (ج) منخفضُ التركيز (د) لا شيء من هذا كله.

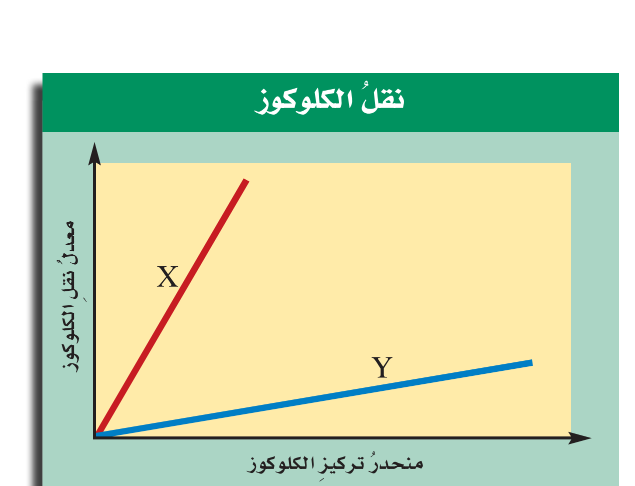


## إجابةٌ قصيرة

15. ما معنى القول: إن الانتشارَ يؤدي في النهايةِ إلى تحقيقِ التوازن؟
16. هل في إمكانِ جميعِ الجزيئاتِ الانتشارُ من خلالِ جميعِ الأغشيةِ الخلوية؟ وضِّحْ إجابتَك.
17. ماذا كان يمكنُ أن يحدثَ للكائناتِ أُحاديةِ الخليةِ التي تعيشُ في المياهِ العذبةِ، كالبراميسيوم، لو لم تكنْ مزوَّدةً بفجواتٍ منقبضة.
18. ما الذي يحددُ اتجاهَ حركةِ الانتقالِ الواضحةِ للماءِ عبرَ الغشاءِ الخلوي؟
19. كيفَ تشكلُ الطبقةُ الدهنيةُ المزدوجةُ للغشاءِ الخلويِّ حاجزًا أمامَ الجزيئات؟
20. كيف يسهمُ الأدينوسينُ ثلاثيُّ الفوسفاتِ في ضبطِ منحدرِ تركيزِ الصوديوم والبوتاسيوم عبرَ الغشاءِ الخلوي؟
21. ميِّزْ بين الإدخالِ الخلويِّ والإخراجِ الخلوي.

## تفكيرٌ ناقد

1. تركيزُ جزيئاتِ الهواءِ داخلَ البالونِ المنفوخِ أعلى من تركيزِها خارجَه. بحكمِ حركتِها العشوائيةِ الدائمة، تضغطُ الجزيئاتُ المتواجدةُ في الداخلِ على البالون، فتبقيهِ مشدودًا. ما وجهُ الشبهِ بين ضغطِ جزيئاتِ الهواءِ تلك وضغطِ الامتلاءِ؟ وما أوجهُ الاختلافِ؟
2. في بعضِ الأحيانِ ينسابُ الماءُ عبرَ جدرانِ الطبقةِ السفلى لمنزلٍ بعدَ هطولِ أمطارٍ غزيرة، فيلزمُ صاحبَ المنزلِ أن يزيلَ الماءَ بواسطةِ مضخة. كيف يمكنُ مقارنةُ هذا الوضعِ بما تقومُ به الكائناتُ الحيةُ أُحاديةُ الخليةِ التي تعيشُ في بركةِ ماءٍ عذبٍ؟
3. عندما تقومُ خليةٌ بامتصاصِ موادَّ إلى داخلِها عن طريقِ الإدخالِ الخلوي، فإن غشاءَها الخلويَّ يشكلُ حويصلةً في داخلِها تتكوَّنُ من الجانبِ الخارجيِّ للغشاءِ الخلوي. ما الذي يمكنُ أن يوحي به هذا من ناحيةِ تركيبِ الغشاءِ الخلوي؟
4. لو تعرَّضتْ خليةٌ لسمٍّ يوقفُ قدرتَها على تصنيعِ الأدينوسينِ ثلاثيِّ الفوسفات، فما الأثرُ المحتملُ لذلك في عملياتِ النقلِ بواسطةِ الغشاءِ الخلوي؟
5. لدى بعضِ الخلايا النباتيةِ بروتيناتٌ ناقلةٌ، تنقلُ في وقتٍ واحدٍ جزيئاتِ السكّرِ وأيوناتِ الهيدروجين $H^+$ إلى داخلِ السيتوسول. وتقومُ هذه البروتيناتُ الناقلةُ بنقلِ جزيئاتِ السكّرِ في اتجاهٍ ضدَّ منحدَرِ تركيزِها، فيما تنتقلُ أيوناتُ الهيدروجين في اتجاهٍ مع منحدَرِ تركيزِها. كيف يمكنُ لنقلِ السكّرِ في تلك الخلايا أن يؤثرَ في الرقمِ الهيدروجينيِّ للمحيطِ البيئيِّ الخارجيِّ للخلايا؟ وماذا يمكنُ أن يحدثَ لنقلِ السكّرِ لو تمتْ إزالةُ أيوناتِ الهيدروجين من المحيطِ البيئيِّ الخارجي؟
6. المنحنيانِ التاليانِ يبيِّنانِ معدلَ نقلِ الكلوكوز عبرَ غشاءٍ خلويٍّ ضدَّ منحدرِ تركيزِ الكلوكوز. يمثلُ أحدُ المنحنيين انتشارَ الكلوكوز عبرَ طبقةٍ دهنيةٍ مزدوجة، ويمثلُ المنحنى الآخرُ نقلَ الكلوكوز عبرَ آليةِ الانتشارِ الميسَّر. أيُّ المنحنيين يمثلُ الانتشارَ الميسَّر؟ كيف تعلِّلُ ذلك.




## توسيعُ آفاقِ التفكير

1. إن الفصلَ الغشائيَّ المطبقَ لدى المرضى الذين لم تعد الكلى لديهم تعملُ بصورةٍ جيدة، هو ترشيحٌ اصطناعيٌّ للدمِ لنزعِ الثُّفاياتِ منه. تستخدمُ الأغشيةُ ذاتُ النفاذيةِ الاختياريةِ في الفصلِ الغشائي ذاتِه، على الكلى، وفي مجالاتٍ طبيةٍ أخرى. راجعِ المستشفى المحليَّ واحصُلْ منه على معلوماتٍ حول كيفيةِ إجراءِ الفصلِ الغشائيِّ في الحالاتِ الطبيةِ للناسِ الذين يخضعونَ لهذا العلاج.
2. تفحّصْ عددًا من الموادِّ الغذائيةِ في محلٍّ بقالة. وسمِّ أربعةَ أطعمةٍ يُستعملُ فيها الملحُ كمادةٍ حافظة. وضحْ سببَ الاستعمالِ الشائعِ للملحِ في حفظِ الطعام، دون أن يغيبَ عن بالِكَ ما تعلمتَهُ حولَ الأسموزية.

# الفصـــل 2

# البناءُ الضَّوئيّ



من خلالِ عمليةِ البناءِ الضوئي، تحصلُ نباتاتُ الذرةِ هذه على الطاقةِ من الشمسِ وتخزنُها في مركَّباتٍ عضوية.



**المفهومُ الرئيس:** المادةُ والطاقةُ والتنظيم

وأنت تقرأُ حول البناءِ الضوئي، لاحظِ الآلياتِ التي تتمُّ في الخلايا والتي تحافظُ على استمرارِ عمليةِ البناءِ الضوئي.

# التفاعلاتِ الضَّوئية

**الكائناتُ الحيةُ جميعُها تستخدمُ الطاقةَ في تنفيذِ وظائفِ الحياة. بعضُ الكائناتِ الحيةِ تحصُلُ على الطاقةِ، بصورةٍ مباشرة، من ضَوْءِ الشمس. إنها تلتقطُ جزءًا من الطاقةِ الضوئيةِ وتُخزِّنُه داخل مركّباتٍ عضوية. هذه العمليةُ التي يتمُّ بها انتقالُ هذه الطاقةِ تُسمّى البناءَ الضّوئيّ Photosynthesis.**

القســـم

## 1-2

### مؤشراتُ الأداء

▲ يوضحُ التلازمَ بين تركيبِ البلاستيدةِ الخضراءِ ووظيفتِها.

● يصفُ دورُ الكلوروفيلِ والأصباغِ الأخرى في البناءِ الضوئي.

■ يلخِّصُ الأحداثَ الرئيسةَ في نقلِ الإلكترونات.

◆ يصفُ ما يحدثُ لجزيئاتِ الماءِ في البناءِ الضوئي.

▲ يوضحُ كيف يتمُّ بناءُ الأدينوسين ثلاثيِّ الفوسفات خلالَ حدوثِ التفاعلاتِ الضوئية.

## الحصول على الطاقة

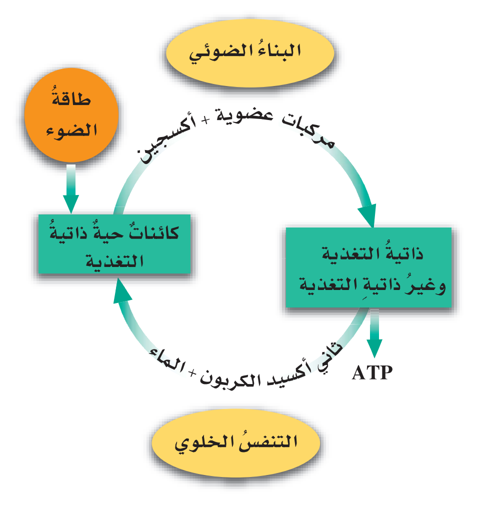
لقد تعلَّمتَ في الصفِّ العاشر، الفصل 1، أنه يمكنُ تصنيفُ الكائناتِ الحيةِ طبقًا لكيفيةِ حصولِها على الطاقة، فالكائناتُ الحيةُ التي تصنعُ غذاءَها الذاتيَّ من موادَّ غيرِ عضويةٍ ومن الطاقةِ تسمّى ذاتيةَ التغذية. ومعظمُ هذه الكائناتِ تستخدمُ البناءَ الضوئيَّ لتحويلِ طاقةِ الضوءِ الصادرِ عن الشمسِ إلى طاقةٍ كيميائيةٍ تُخزِّنُها داخلَ مركّباتٍ عضويةٍ مختلفةٍ، وأولُها الكربوهيدرات. النباتاتُ هي المثالُ الأكثرُ شيوعًا للكائناتِ الحيةِ التي تقومُ بعمليةِ البناءِ الضوئي، إلا أن الطحالبَ وبعضَ البكتيريا تستطيعُ هي أيضًا صنعَ مركّباتِها العضويةِ من خلالِ البناءِ الضوئي.

تذكّرْ أن الحيواناتِ والكائناتِ الحيةَ الأخرى التي لا تستطيعُ صنعَ مركّباتِها العضويةِ من موادَّ غيرِ عضويةٍ تُسمّى الكائناتِ غيرَ ذاتيةِ التغذية. وهذه الكائناتُ تحصُلُ على الغذاءِ عن طريقِ أكلِها لكائناتٍ ذاتيةِ التغذيةِ، أو بأكلِها كائناتٍ أُخرى غيرَ ذاتيةِ التغذيةِ مما يقتاتُ بكائناتٍ ذاتيةِ التغذية. فالحياةُ بأكملِها في النهايةِ تعتمدُ على الكائناتِ ذاتيةِ التغذية.

يشتملُ البناءُ الضوئيُّ على سلسلةٍ معقدةٍ من التفاعلاتِ الكيميائيةِ، حيثُ تُنتجُ هذه التفاعلاتُ مادةً في التفاعلِ الأولِ ويتمُّ استهلاكُها في التفاعلِ الذي يليه. إن سلسلةَ التفاعلاتِ المترابطةِ بهذهِ الطريقةِ، تُسمّى **المسارَ الكيميائيَّ الأحيائيّ** **Biochemical pathway**.

وكما ترى في الشكل 1-2، تقومُ الكائناتُ الحيةُ ذاتيةُ التغذيةِ باستخدامِ المساراتِ الكيميائيةِ الأحيائيةِ للبناءِ الضوئيِّ، كي تُصنِّعَ المركّباتِ العضويةَ من الماءِ وثاني أكسيدِ الكربون ($CO_2$). ويتمُّ تحريرُ الأكسجين ($O_2$).

بعضُ الطاقةِ المخزنةِ في المركّباتِ العضويةِ تطلقُهُ الخلايا خلالَ مجموعةِ مساراتٍ كيميائيةٍ أحيائيةٍ أخرى تُسمّى التنفسَ الخلوي. وكما يظهرُ في الشكل 1-2، تقومُ الكائناتُ الحيةُ ذاتيةُ التغذيةِ وغيرُ ذاتيةِ التغذيةِ في آنٍ واحدٍ بعمليةِ التنفسِ الخلوي. تتحدُ المركّباتُ العضويةُ بالأكسجين خلالَ التنفسِ الخلوي، لدى معظمِ الكائناتِ الحية، لإنتاجِ الأدينوسين ثلاثي الفوسفات. وينجمُ عن ذلكَ إنتاجُ ثاني أكسيدِ الكربونِ والماءِ كموادَّ مُنتِجة. وبهذا تُستخدَمُ نواتجُ البناءِ الضوئي، أي المركّباتُ العضويةُ والأكسجين، وهي موادُّ متفاعلة، في التنفسِ الخلوي. أما نواتجُ عمليةِ التنفسِ، أي ثاني أكسيدِ الكربونِ والماء، وهي موادُّ متفاعلة، فتُستخدَمُ في البناءِ الضوئي.




**الشكل 1-2**
العديدُ من الكائناتِ الحيةِ ذاتيةِ التغذية ينتجُ مركّباتٍ عضويةً وأكسجينًا من خلالِ عمليةِ البناءِ الضوئي. تُنتجُ الكائناتُ الحيةُ ذاتيةُ التغذيةِ وغيرُ ذاتيةِ التغذية، على السواء، ثانيَ أكسيدِ الكربونِ والماءَ من خلالِ عمليةِ التنفسِ الخلوي.

# التقاطُ الطاقةِ الضَّوئية

تُسمّى جملةُ التفاعلاتِ الأوليةِ في البناءِ الضوئيِّ لدى النباتاتِ **التفاعلاتِ الضوئية Light reactions**، وهي تبدأُ بامتصاصِ البلاستيداتِ الخضراءِ للضوء. تذكَّرْ، من الصفِّ العاشر، الفصل 3، أن البلاستيدةَ الخضراءَ عضيٌّ يتواجدُ في خلايا النباتات، وفي كائناتٍ حيةٍ أحاديةِ الخليةِ حقيقيةِ النواةِ هي الطحالب. يمكنُ لبعضِ الطحالبِ أن يحتويَ على بلاستيدةٍ خضراءَ وحيدةٍ كبيرة، بينما يمكنُ أن تحتويَ خليةُ ورقةٍ نباتيةٍ على 50 بلاستيدةً أو أكثر.

معظمُ البلاستيداتِ الخضراءِ تتصفُ بتركيبٍ متشابه، بصرفِ النظرِ عن الكائنِ الحيِّ الذي تتواجدُ فيه. ووفقًا لما تعلَّمْتَه في الصفِّ العاشر، الفصل 3، كلُّ بلاستيدةٍ خضراءَ تكونُ محاطةً بزوجٍ من الأغشية. ويشتملُ داخلُ البلاستيدةِ على نظامٍ آخرَ من الأغشيةِ منسّقٌ على صورةِ أكياسٍ مفلطحةٍ تسمّى الثايلوكويدات. الشكل 2-2 يبيّنُ الترابطَ بين الثايلوكويدات، ويوضِّحُ أن بعضَها تكدّسَ على شكلِ طبقاتٍ بعضُها فوقَ بعض، فشكَّلَ حُزَمًا تسمّى **كرانا Grana** (ومفردُها كرانم Granum)، ويوجدُ حولَ الثايلوكويدات محلولٌ يُسمّى **الحشوة Stroma**.

## الضوءُ والأصباغ

تتضحُ كيفيةُ قيامِ البلاستيداتِ الخضراءِ بامتصاصِ الضوء، في البناءِ الضوئي، من خلالِ فهمِنا لبعضِ خصائصِ الضوء. يظهرُ الضوءُ الصادرُ عن الشمسِ أبيضَ اللون، لكنه في الواقعِ يتألفُ من ألوانٍ متنوعة. ويوضحُ الشكل 2-3، أن فرزَ الضوءِ الأبيضِ إلى الألوانِ التي يتكونُ منها هو شيءٌ ممكن، وذلك بجعلِ الضوءِ يمُرُّ عبرَ منشور. صفُّ الألوانِ الناجمةِ عن ذلك، الذي يبدأُ باللونِ الأحمرِ عند طرفٍ وينتهي باللونِ البنفسجيِّ عند الطرفِ الآخر، يؤلفُ مجموعةً تُسمّى **الطيفَ المرئي Visible spectrum**.

ينتقلُ الضوءُ عبرَ الفضاءِ على صورةِ موجاتٍ من الطاقة. هذه الموجاتُ مطابقةٌ للموجاتِ التي تنتقلُ عبرَ كتلةٍ مائيةٍ لدى اصطدامِ جسمٍ بسطحِ الماء. وتُقاسُ موجةُ الضوء، كما تُقاسُ موجةُ الماء، أي حسبَ **طولها الموجي Wavelength**، وهو المسافةُ بين قمَّتَيْ موجتينِ متتاليتين. يمكنُكَ أن ترى في الشكل 2-3 أن للألوانِ المختلفة، في الطيفِ المرئي، أطوالاً موجيةً مختلفة.

عندما يسلَّطُ الضوءُ الأبيضُ على جسمٍ يمكنُ للألوانِ التي تكوِّنُ الضوءَ الأبيضَ أن تنعكسَ وتنتقل، أو أن يمتصَّها ذلك الجسم، إلا أن الألوانَ المختلفةَ تتفاعلُ بشكلٍ مختلفٍ إذا احتوى الجسمُ الذي يلتقيها على **صِبغ Pigment**. فالصِبغُ مركّبٌ يمتصُّ الضوء. ومعظمُ الأصباغِ تمتصُّ من الضوءِ ألوانًا محددةً أكثرَ من غيرِها. وبامتصاصِ الصِبغِ لألوانٍ معينةٍ يكونُ قد نزعَ تلكَ الألوانَ من الطيفِ المرئي. لذلك، فإن الضوءَ الذي يعكِسُهُ أو ينقُلُهُ الصبغُ لا يظهرُ أبيضَ اللون. فعلى سبيلِ المثال، تحتوي عدساتُ النظاراتِ الشمسيةِ الخضراءُ على صبغٍ يعكسُ وينقلُ الضوءَ الأخضرَ ويمتصُّ الألوانَ الأخرى. ونتيجةَ ذلك تبدو العدساتُ خضراءَ اللون.

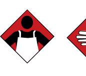
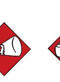
---

**نشاطٌ عمليٌّ سريع**

### تحليلُ عمليةِ البناءِ الضوئي

**الموادّ** قفازاتٌ للاستعمالِ لمرةٍ واحدة، معطفُ مختبر، نظاراتٌ واقية، دوارقُ إيرلنماير 250 mL (عدد 3)، أزرقُ بروموثيمول، فرعانِ صغيرانِ من الإلوديا، ماء، ماصةٌ للشرب، بلاستيك تغليفٍ شفاف، مخبارٌ مدرّج 100 mL.

**الإجراء**

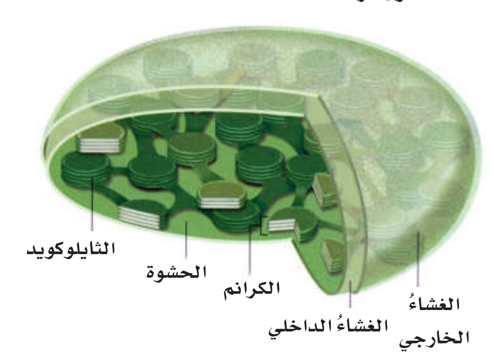

1. البَسِ القفازاتِ ومعطفَ المختبرِ والنظارةَ الواقية.
2. رقِّمِ الدوارقَ «1»، «2» و«3». أضفْ 200 mL من الماءِ وعشرينَ قطرةً من أزرقِ البروموثيمول إلى كلِّ دورق.
3. ضعِ ماصةَ الشربِ في الدورقِ «1» وانفُخْ داخلَ المحلولِ الأزرقِ إلى أن يتحولَ لونُهُ إلى الأصفر. كررْ هذه الخطوةَ بالنسبةِ للدورقِ «2».
4. ضعْ فرعَ إلوديا في كلٍّ من الدورقين «1» و«3».
5. غطِّ الدوارقَ الثلاثةَ ببلاستيكِ تغليفٍ شفّاف. ضعِ الكلَّ في موقعٍ جيِّدِ الإضاءة، واتركْهُ على هذه الحال، إلى اليومِ التالي. دوِّن ملاحظاتِك.

**التحليل** صِفِ النتائجَ التي حصلتَ عليها. وضِّحِ السببَ الذي جعلَ أحدَ المحاليلِ يغيِّرُ لونَه. لماذا لم تتغيَّرْ ألوانُ المحاليلِ الأخرى؟ أيُّ دورقٍ هو الدورقُ الضابطُ في هذا النشاطِ المختبري؟

---

**الشكل 2-2**

**البناءُ الضوئيُّ، لدى الكائناتِ حقيقيةِ النواة، يَحدُثُ داخلَ البلاستيداتِ الخضراء. تتمُّ التفاعلاتُ الضوئية، خلالَ عمليةِ البناءِ الضوئي، في الثايلوكويداتِ التي تتجمعُ بعضُها فوقَ بعضٍ فتكوِّن كرانا.**



## أصباغُ البلاستيدةِ الخضراء

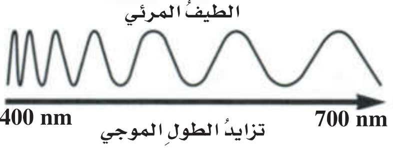
هناك أصباغٌ متنوعةٌ توجدُ في غشاءِ الثايلوكويدات، وأكثرُها أهميةً هي الأصباغُ التي تسمى **كلوروفيلات Chlorophylls**. توجدُ أنواعٌ مختلفةٌ من الكلوروفيل. والنوعانِ الأكثرُ شيوعًا يسميانِ : كلوروفيل أ وكلوروفيل ب.

الفرقُ الضئيلُ، بين تركيبِ جزيءِ الكلوروفيل أ وتركيبِ جزيءِ الكلوروفيل ب هو الذي يجعلُ الجزيئين يمتصانِ ألوانًا مختلفةً من الضوء. ووفقًا لما يظهرُ في الشكل 2-4، يمتصُّ الكلوروفيل أ مقدارًا أقلَّ من اللونِ الأزرقِ ومقدارًا أكبرَ من اللونِ الأحمرِ مقارنةً بما يمتصُّهُ الكلوروفيل ب. لكن الكلوروفيل أ والكلوروفيل ب كليهما لا يمتصّانِ الكثيرَ من الضوءِ الأخضر، وهما بدلاً من ذلك يسمحانِ للَّونِ الأخضرِ بالانعكاس أو الانتقال. لهذا السببِ تبدو الأوراقُ الفتيةُ والتراكيبُ النباتيةُ الأخرى، التي تحتوي على مقاديرَ كبيرةٍ من الكلوروفيل، خضراءَ اللون.

الكلوروفيل أ، وحدَهُ، معنيٌّ مباشرةً بالتفاعلاتِ الضوئيةِ في البناءِ الضوئي. الكلوروفيل ب يساعد الكلوروفيل أ في التقاطِ طاقةِ الضوء، ومن ثَمَّ يُسمّى الكوروفيل ب **صِبْغًا مساعدًا Accessory pigment**. أمّا المركّباتُ الأخرى التي تتواجدُ في غشاءِ الثايلوكويد، ومن ضمنِها **الكاروتينويدات Carotenoids** الصفراءُ والبرتقاليةُ والبنّية، فتعملُ أيضًا كأصباغٍ مساعدة. انظرْ من جديدٍ إلى الشكل 2-4، وتنبّهْ إلى أن نمطَ امتصاصِ أحدِ الكاروتينويدات للضوءِ يختلفُ عن نمطِ امتصاصِ أيِّ كلوروفيل للضوءِ. عبرَ امتصاصِ الألوانِ التي ليسَ باستطاعةِ الكلوروفيل أ امتصاصَها، تُمكِّنُ الأصباغُ المساعِدةُ النباتاتِ على التقاطِ المزيدِ من الطاقةِ التي في الضوء.

في أوراقِ النباتِ تكونُ أصباغُ الكلوروفيل أكثرَ وفرة، فتُخفي ألوانَ الأصباغِ الأخرى. أما في أجزاءِ النباتِ التي لا تقومُ بعمليةِ البناءِ الضوئي، كالثمارِ والأزهار، فيمكنُ للأصباغِ الأخرى أن تكونَ مرئيةً بوضوح. تفقدُ نباتاتٌ عديدةٌ أصباغَ الكلوروفيل خلالَ فصلِ الخريف، فتبدو أوراقُها بألوانٍ تعكسُ وفرةَ تدرُّجِ الألوانِ في أصباغِ الكاروتينويدات.



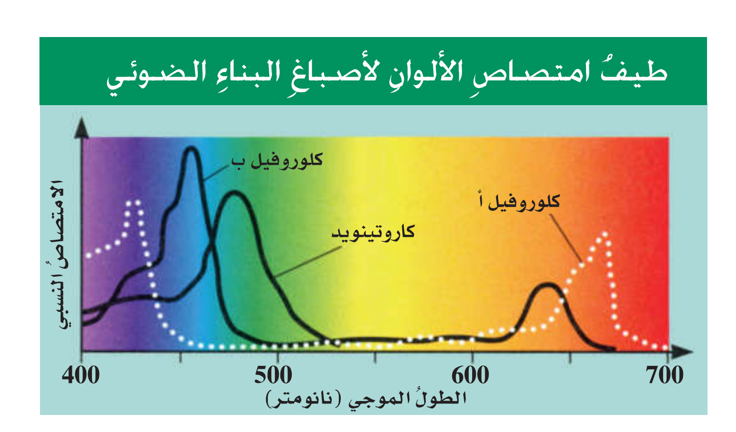




**الشكل 2-3**
الضوءُ الأبيضُ يحتوي على ألوانٍ متنوعة تُسمَى الطيفَ المرئي. لكلّ لونٍ طولٌ موجيٌّ خاصٌّ به مختلفٌ عن غيرِه من الألوان، يقاسُ بوحداتِ نانوميتر.

**الشكل 2-4**
المنحنياتُ الثلاثةُ، في هذا الرسمِ البيانيِّ، تبيّنُ كيفَ تختلفُ الأصباغُ الثلاثةُ المعنيةُ بالبناءِ الضوئيِّ في امتصاصِها لألوانِ الضوء. حيث تظهرُ قمةُ المنحنى البياني، وعندَ ذلكَ الطولِ الموجي، يتمُّ امتصاصُ معظمِ الضوء. وحيثُ يظهرُ تقعّرٌ في المنحنى البيانيِّ، وعندَ الطولِ الموجيِّ ذاتِه، ينعكسُ أكبرُ مقدارٍ من الضوءِ أو يتمُّ نقلُه.

## نقلُ الإلكترونات

تتجمعُ أصباغُ الكلوروفيل والكاروتينويدات في كتلٍ مكوَّنةٍ من بضعِ مئاتٍ من جزيئاتِ الأصباغِ في غشاءِ الثايلوكويد. كلُّ كتلةٍ من جزيئاتِ الأصباغِ تعرفُ باسمِ **نظام ضوئي Photosystem**. وهناك نوعانِ من الأنظمةِ الضوئية: **النظامُ الضوئيُّ الأول Photosystem I** والنظامُ **الضوئيُّ الثاني Photosystem II**. وهما متشابهانِ من حيث أصنافُ الأصباغِ التي يحتويانِ عليها، إلا أن دورَ كلٍّ منهما يختلفُ في التفاعلاتِ الضوئية. تبدأُ التفاعلاتُ الضوئيةُ عندما تشرعُ جزيئاتُ الصبغِ المساعدِ



في امتصاصِ الضوءِ في النظامينِ الضوئيينِ معًا، حيثُ تكتسبُ تلكَ الجزيئاتُ بعضًا من الطاقةِ التي كانت موجاتُ الضوءِ تحملُها. في كلِّ نظامٍ ضوئيٍّ يتمُّ تمريرُ الطاقةِ المكتسبةِ إلى جزيئاتِ الأصباغِ الأخرى بسرعةٍ إلى أن تبلغَ زوجًا معينًا من جزيئاتِ الكلوروفيل أ. إن الأحداثَ التي تحصلُ انطلاقًا من هذه النقطةِ يمكنُ تقسيمُها إلى خمسِ خطوات. انظرِ الشكل 2-5، وتتبَّعِ الخطوات:

الخُطوةُ الأولى: يثيرُ الضوءُ الإلكتروناتِ في جزيئاتِ الكلوروفيل أ للنظامِ الضوئيِّ الثاني.

الخُطوةُ الثانية: تنتقلُ هذه الإلكتروناتُ إلى **مستقبِلِ إلكتروناتٍ أوَّليّ Primary electron acceptor**.

الخُطوةُ الثالثة: تُنقلُ الإلكتروناتُ على طولِ سلسلةٍ من الجزيئاتِ تُسمّى **سلسلةَ نقلِ الإلكترونات Electron transport chain**.

الخُطوةُ الرابعة: يثيرُ الضوءُ إلكتروناتٍ في جزيئاتِ الكلوروفيل أ للنظامِ الضوئيِّ الأول. فتنتقلُ هذه الإلكتروناتُ إلى مستقبِلِ إلكتروناتٍ أوليٍّ آخرَ حيثُ تحلُّ مكانَها إلكتروناتٌ من النظامِ الضوئيِّ الثاني.

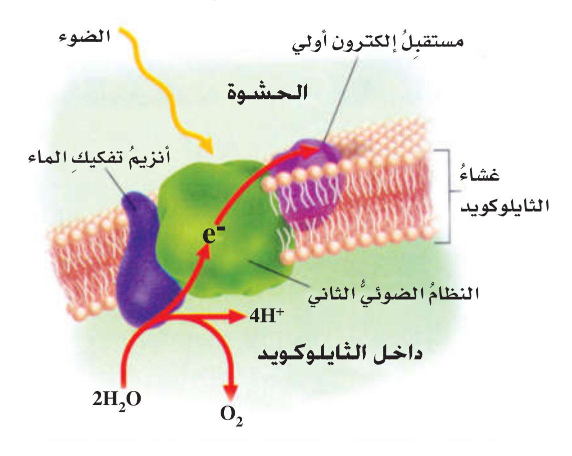
الخُطوةُ الخامسة: يتمُّ نقلُ إلكتروناتٍ من النظامِ الضوئيِّ الأول على طولِ سلسلةِ نقلِ إلكتروناتٍ ثانية، حيثُ تتحدُ الإلكتروناتُ، في نهايةِ هذهِ السلسلةِ مع **$NADP^+$** والهيدروجين $H^+$ لتشكيل NADPH.

## إعادةُ الإلكترونات في التفاعلات الضَّوئية

قرأتَ في الخُطوةِ الرابعةِ عن إلكتروناتٍ من جزيئاتِ الكلوروفيل في النظامِ الضوئيِّ الثاني تحلُّ مكانَ الإلكتروناتِ التي تغادرُ جزيئاتِ الكلوروفيل في النظامِ الضوئيِّ الأول. إذا لم تحُلَّ الإلكتروناتُ مكانَ إلكتروناتِ النظامِ الضوئيِّ الثاني تتوقفُ سلسلتا نقلِ الإلكتروناتِ معًا، ولن تتمَّ عمليةُ البناءِ الضوئي. أما الإلكتروناتُ البديلةُ فتوفِّرُها جزيئاتُ الماء. فكما يظهرُ في الشكل 2-6، يؤدي وجودُ أنزيمٍ في الثايلوكويد إلى تفكيكِ جزيئاتِ الماءِ إلى بروتوناتٍ وإلكتروناتٍ وأكسجين، حسبَ المعادلةِ التالية:

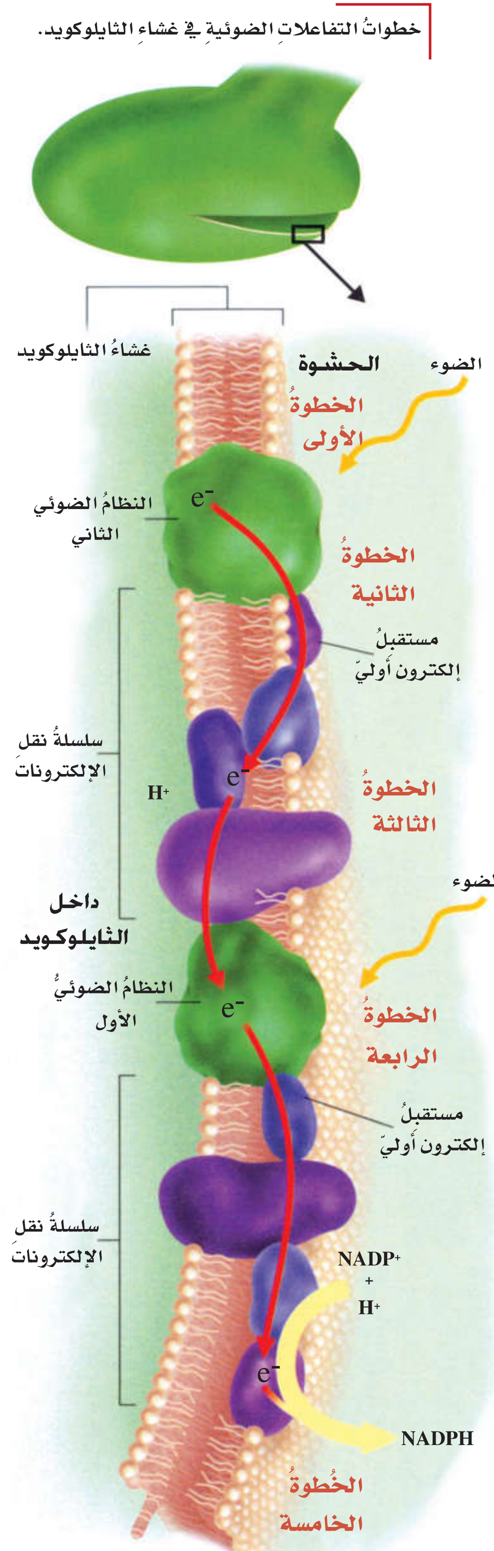
$$2H_2O \longrightarrow 4H^+ + 4e^- + O_2$$

في كلِّ جزيئينِ من الماءِ يتمُّ تفكيكُهما تَنتجُ أربعةُ إلكتروناتٍ لتحلَّ محلَّ تلكَ التي فقدَتْها جزيئاتُ الكلوروفيل في النظامِ الضوئيِّ الثاني. أما البروتوناتُ التي تَنتجُ عن العمليةِ فتظلُّ داخلَ الثايلوكويد، في حين ينتشرُ الأكسجينُ خارجَ البلاستيدةِ




**الشكل 2-5**
خطواتُ التفاعلاتِ الضوئيةِ في غشاءِ الثايلوكويد.






**الشكل 2-6**
إن تفكيكَ الماءِ داخلَ الثايلوكويد يطلقُ الإلكتروناتِ التي تحلُّ محلَّ الإلكتروناتِ التي غادرتِ النظامَ الضوئيَّ الثاني في وجودِ الضوء.

الخضراءِ، فيمْكِنه عندئذ أن يغادرَ النبات. بهذا يُمكنُ اعتبارُ الأكسجين كناتجٍ فرعيٍّ للتفاعلاتِ الضوئيةِ لا حاجةَ إليه في عمليةِ البناءِ الضوئي. إلا أن الأكسجينَ الناتجَ عن عمليةِ البناءِ الضوئي، كما سترى في الفصل 3، هو أساسيٌّ للتنفسِ الخلويِّ لدى معظمِ الكائناتِ الحية، ومن ضمنِها النبات.

## تكوين ATP خلال التفاعلاتِ الضّوئيةِ

إن بناءَ الأدينوسين ثلاثيِّ الفوسفات ATP جزءٌ مهمٌّ من التفاعلاتِ الضوئيةِ، يتمُّ بواسطةِ عمليةٍ تسمّى **الأسموزيّة الكيميائية Chemiosmosis**. تستندُ الأسموزيةُ الكيميائيةُ إلى منحدَرِ تركيزِ البروتوناتِ عبرَ غشاءِ الثايلوكويد. واعلَمْ أن بعضَ البروتوناتِ تَنْتجُ عن تفكيكِ جزيئاتِ الماءِ داخلَ الثايلوكويد، ويتمُّ ضخُّ بروتوناتٍ أخرى من الحشوةِ إلى داخلِ الثايلوكويد بعدَ حصولِها على الطاقةِ المطلوبةِ من الإلكتروناتِ المثارةِ خلال مرورِها على طولِ سلسلةِ نقلِ الإلكتروناتِ في النظامِ الضوئيِّ الثاني. وهاتانِ العمليتانِ تعملانِ في اتجاهِ زيادةِ منحدَرِ تركيزِ البروتونات. معنى ذلك أن منحدَرَ تركيزِ البروتونات يكونُ داخلَ الثايلوكويد أعلى منه في الحشوة.

يُمثِّل منحدَرُ تركيزِ البروتوناتِ طاقةً كامنةً يُستخدمُها بروتينٌ يسمّى **أنزيمَ بناءِ الأدينوسين ثلاثيِّ الفوسفات ATP synthase**، وهو موجودٌ في غشاءِ الثايلوكويد، كما يظهرُ في الشكل 2-7. يقومُ أنزيمُ بناء ATP بإضافةِ مجموعةٍ فوسفاتيةٍ إلى **الأدينوسين ثنائيِّ الفوسفات Adenosine diphosphate** أو **ADP**. إن الطاقةَ التي تشغِّلُ هذا التفاعلَ توفرُها حركةُ انتقالِ البروتونات من داخلِ الثايلوكويد إلى الحشوة. بذلك يقومُ أنزيمُ بناء ATP بتحويلِ الطاقةِ الكامنةِ لمنحدَرِ تركيزِ البروتون إلى طاقةٍ كيميائيةٍ مخزونةٍ في ATP. تذكَّرْ، من الصف العاشر، الفصل 2، أن ATP صورةٌ لتداولِ الطاقةِ الرئيس في الخلايا.

كما تعلَّمْتَ سابقًا، تُستخدَمُ بعضُ البروتونات، في الحشوة، لصنعِ مادةِ NADPH انطلاقًا من مادةِ $NADP^+$. تقومُ المادتانِ NADPH و ATP معًا بتأمينِ الطاقةِ لمجموعةٍ ثانيةٍ من التفاعلاتِ في عمليةِ البناءِ الضوئي، سيتمُّ وصفُها في القسمِ التالي.

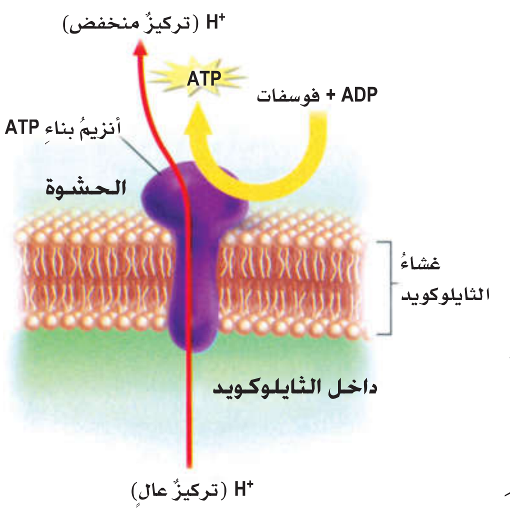
إن أنزيمَ بناءِ مادةِ ATP هو بروتينٌ متعددُ الوظائف. ويعملُ كبروتينٍ ناقلٍ من خلالِ سماحِهِ للبروتوناتِ بعبورِ غشاءِ الثايلوكويد. ويعملُ كذلكَ كأنزيمٍ من خلالِ تحفيزِهِ لعمليةِ بناءِ ATP. انطلاقًا من مادة ADP.

### جذرُ الكلمةِ وأصلُها

**الأُسموزيةُ الكيميائية**

**chemiosmosis**

منَ اليونانيةِ chemeia ومعناها «الكيمياءُ القديمة»، و osmosis ومعناها «يدفع »




**الشكل 2-7**
خلال الأسموزية الكيميائية يتمُّ إطلاقُ الطاقة عبر حركةِ انتقال البروتونات إلى داخل الحشوة في البلاستيدة الخضراء، وهي الطاقةُ التي تُستخدَمُ في بناء الأدينوسين ثلاثيِّ الفوسفات.

## مراجعةُ القسم 2-1

1. صفْ تركيبَ ثايلوكويدات بلاستيدةٍ خضراءَ ووظيفتَها.
2. ما دورُ الأصباغ في عمليةِ البناءِ الضوئي؟
3. ماذا يحدثُ للإلكتروناتِ التي يفقدُها النظامُ الضوئيُّ الثاني؟ ماذا يحدثُ للإلكتروناتِ التي يفقدُها النظامُ الضوئيُّ الأول؟
4. سمِّ ثلاثَ موادَّ تنتجُ لدى تفكيكِ جزيئاتِ الماءِ خلالَ التفاعلاتِ الضوئية.
5. كيف يتمُّ بناءُ الأدينوسين ثلاثيِّ الفوسفات، في التفاعلاتِ الضوئية؟
6. **تفكيرٌ ناقد** وضِّحْ كيفيةَ تأثُّرِ التفاعلاتِ الضوئيةِ إذا لم يتوفَّرْ منحدَرُ تركيزِ البروتوناتِ عبرَ غشاءِ الثايلوكويد.

القسم

# 2-2

## مؤشراتُ الأداء

▲ يلخصُ الأحداثَ الرئيسةَ في دورةِ كالفن.

● يصفُ ما يحدثُ للمركباتِ التي يتمُّ تصنيعُها في دورةِ كالفن.

■ يوضحُ تأثيرَ عواملِ المحيطِ البيئيِّ في معدَّلِ عمليةِ البناءِ الضوئي.

# دورةُ كالفن

تُعنَى المجموعةُ الثانيةُ من التفاعلاتِ في البناءِ الضوئيِّ بالمسارِ الكيميائيِّ الأحيائيِّ الذي يعرفُ باسمِ **دورةِ كالفن Calvin cycle**. يُنتِجُ هذا المسارُ مركباتٍ عضويةً عن طريقِ استخدامِ الطاقةِ المخزونةِ في أدينوسين ثلاثيِّ الفوسفات وفي مادة NADPH خلال حدوثِ التفاعلاتِ الضوئية.

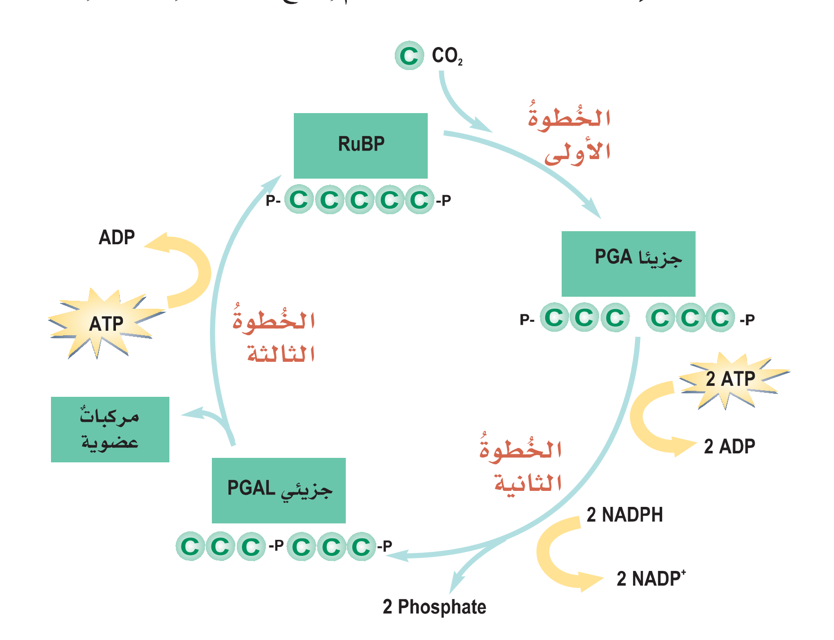
سمِّيتْ دورةُ كالفن بهذا الاسمِ نسبةً إلى العالِمِ الأميركيِّ ميلفن كالفن Melvin Calvin (1911-1997) الذي كشفَ تفاصيلَ هذا المسار.

## تثبيتُ الكربون عبرَ دورةِ كالفن

في دورةِ كالفن يتمُّ ربطُ ذراتِ كربونٍ من ثاني أكسيدِ الكربون، أو تثبيتُها داخلَ مركباتٍ عضوية. إن عمليةَ إدخالِ ثاني أكسيدِ الكربون ضمنَ مركباتٍ عضويةٍ يسمّى **تثبيتَ الكربون Carbon fixation**. تتمُّ دورةُ كالفن داخلَ حشوةِ البلاستيدةِ الخضراءِ وتتضمنُ ثلاثَ خطواتٍ رئيسة، الشكل 2-8 .

الخُطوةُ الأولى: ينتشرُ ثاني أكسيدِ الكربون $CO_2$ داخلَ الحشوةِ انطلاقًا من السيتوسولِ المحيط. ويقومُ أنزيمٌ بتثبيتِ جزيءٍ واحدٍ من ثاني أكسيد الكربون $CO_2$ في مركَّبٍ كربوهيدراتي خماسيِّ الكربون يُسمّى **RuBP**، فيَنتُجُ جزيءٌ سداسيُّ الكربون ينقسمُ على الفورِ إلى زوجٍ من الجزيئاتِ ثلاثيةِ الكربون تعرفُ باسم **PGA**.

الخُطوةُ الثانية: يتمُّ تحويلُ PGA إلى جزيءٍ آخرَ ثلاثيِّ الكربون هو **PGAL**، يستقبلُ كلُّ جزيءِ PGA مجموعةً فوسفاتيةً من جزيءِ ATP وبروتونًا من NADPH ويُطلِقُ مجموعةً فوسفاتية، فيتمُّ إنتاجُ PGAL، إضافةً إلى ADP




**الشكل 2-8**
تتمُّ دورةُ كالفن في حشوةِ البلاستيدةِ الخضراء، وهي من خُطواتٍ ثلاث. الخُطوةُ الأولى: يتَّحدُ ثاني أكسيدِ الكربون مع RuBP ليشكلا جزيئين من PGA الخُطوةُ الثانية: يتمُّ تحويلُ كلِّ جزيءٍ من PGA إلى جزيءٍ واحدٍ من PGAL. الخُطوةُ الثالثة: يتمُّ تحويلُ معظم مادة PGAL، من جديد إلى RuBP، إلا أنه يمكنُ لبعض PGAL أن يُستخدمَ في صنع مركبات عضوية متنوعة.

و $NADP^+$ والفوسفات. هذه الموادُّ الناتجةُ الثلاثُ قابلةٌ للاستعمالِ من جديدٍ في التفاعلاتِ الضوئيةِ لبناءِ جزيئاتٍ إضافيةٍ من NADPH و ATP.

الخُطوةُ الثالثة: يتمُّ تحويلُ معظمِ PGAL من جديد إلى RuBP، عبرَ سلسلةٍ معقدةٍ من التفاعلات. تتطلبُ هذه التفاعلاتُ مجموعةً فوسفاتيةً من جزيءٍ آخرَ من ATP يتحولُ إلى ADP. عبرَ إعادةِ إنتاجِ RuBP الذي استُهلكَ في الخُطوةِ الأولى، تسمحُ تفاعلاتُ هذه الخطوةِ لدورةِ كالفن بأن تتواصل. إلا أن بعضَ جزيئاتِ PGAL لا تتحولُ إلى RuBP، فتغادرُ دورةَ كالفن، ويمكنُ استخدامُها من قِبَلِ الخليةِ النباتيةِ في صنعِ مركباتٍ عضويةٍ أخرى.

## الطاقةُ اللازمةُ للبناءِ الضوئي

كم من ATP و NADPH يلزمُ لصنعِ جزيءٍ واحدٍ من PGAL، انطلاقًا من ثاني أكسيدِ الكربون؟ كلُّ دورةٍ كالفن واحدةٍ تثبِّتُ جزيئًا واحدًا من ثاني أكسيدِ الكربون. بما أن PGAL مركبٌ ثلاثيُّ الكربون، فهناك حاجةٌ إلى ثلاثِ دوراتِ كالفن لإنتاجِ جزيءٍ واحدٍ من PGAL. لكلِّ دورةِ كالفن واحدة يتمُّ استخدامُ جزيئَين من ATP وجزيئَين من NADPH في الخطوةِ الثانية، واحدٌ منهما لكلِّ جزيءٍ من PGAL يتمُّ إنتاجُه، وجزيءٌ من ATP إضافي يستخدَمُ في الخطوةِ الثالثة. ولذلك، تَستخدمُ ثلاثُ دوراتِ كالفن تسعةَ جزيئاتٍ من ATP وستةَ جزيئاتٍ من NADPH.

بعضُ جزيئاتِ PGAL والجزيئاتُ الأخرى التي تُصنعُ في دورةِ كالفن تدخلُ في بناءِ مركّباتٍ عضويةٍ متنوعة، ومن ضمنِها الأحماضُ الأمينيةُ والدهونُ والكربوهيدرات. من بين الكربوهيدراتِ نذكرُ أحادِيَّي التسكّرِ المتمثلين بالجلوكوز والفركتوز، وثنائيَّ التسكرِ المتمثلَ بالسكروز، وعديدةَ التسكّر: الجليكوجين والنشاء والسليلوز. معظمُ الكائناتِ الحيةِ غيرُ ذاتيةِ التغذيةِ تعتمدُ على الطاقةِ الكيميائيةِ المخزونةِ في المركّباتِ العضويةِ المصنّعةِ من النباتاتِ والكائناتِ الحيةِ الأخرى ذاتِ البناءِ الضوئي.

تذكَّرْ أن الماءَ يتفككُ خلال التفاعلاتِ الضوئية، مولدًا إلكتروناتٍ وبروتوناتٍ وأكسجينًا كموادَّ منتَجةٍ ثانوية. بهذا يمكنُ أن تكتبَ المعادلةُ الشاملةُ الأبسطُ للبناءِ الضوئي، ومن ضمنِها التفاعلاتُ الضوئيةُ ودورةُ كالفن، كما يأتي:

$$CO_2 + H_2O + \text{طاقة ضوئية} \longrightarrow (CH_2O) + O_2$$

وغالبًا ما يُستعاضُ عنها في هذه المعادلةِ بكربوهيدراتِ الجلوكوز $C_6H_{12}O_6$، فنحصُلُ على المعادلةِ التالية:

$$6CO_2 + 6H_2O + \text{طاقة ضوئية} \longrightarrow C_6H_{12}O_6 + 6O_2$$

تذكّرْ أن الجلوكوز لا يُنتَجُ فعليًّا عبرَ مساراتِ البناءِ الضوئي. لقد تضمنتِ المعادلةُ الجلوكوز، وبشكلٍ رئيس، للتشديدِ على العلاقةِ ما بين البناءِ الضوئيِّ والتنفسِ الخلوي، ما سيناقشُ في الفصل 3.

### صلةٌ بالبيئة

**البناءُ الضوئيُّ والاحتباسُ الحراري**

مع بدايةِ الثورةِ الصناعية، في حوالي العام 1850، بدأ يرتفعُ تركيزُ ثاني أكسيدِ الكربون الجويّ. نَجَم هذا الارتفاع، وبشكل كبير، عن إحراقِ الوقودِ الأحفوري، الذي يُطلِقُ ثاني أكسيدِ الكربونِ كمادةٍ ناتجةٍ فرعية. قد تتوقّعُ استفادةَ النباتِ من تنامي ثاني أكسيدِ الكربون في الجو. إلا أنه في واقعِ الأمرِ يمكنُ لارتفاعِ منسوبِ ثاني أكسيد الكربون في الجوِّ إلحاقُ الضررِ بالكائناتِ الحيةِ ذاتِ البناءِ الضوئيِّ أكثرَ من مساعدتِها.

يحتجزُ ثاني أكسيدِ الكربون وغازاتٌ أخرى في الجوِّ بعضَ حرارةِ كوكبِ الأرض، وهذا يجعلُ الأرضَ ذلك أكثرَ سخونة. وقد يؤدي هذا الاحتباسُ الحراري إلى خفضِ الهطولِ على الأرض، فتتصحَّرُ مناطقُ وقد لا تعودُ ملائمةً لمعظمِ النباتات.

كذلك يتفاعلُ ثاني أكسيدِ الكربون في الجوِّ مع الماءِ فتنتجُ هطولٌ حمضيَّةٌ، يمكنُ أن تؤديَ إلى هلاكِ النباتات.

# العواملُ المؤثِّرةُ في معدَّلِ البناءِ الضوئي

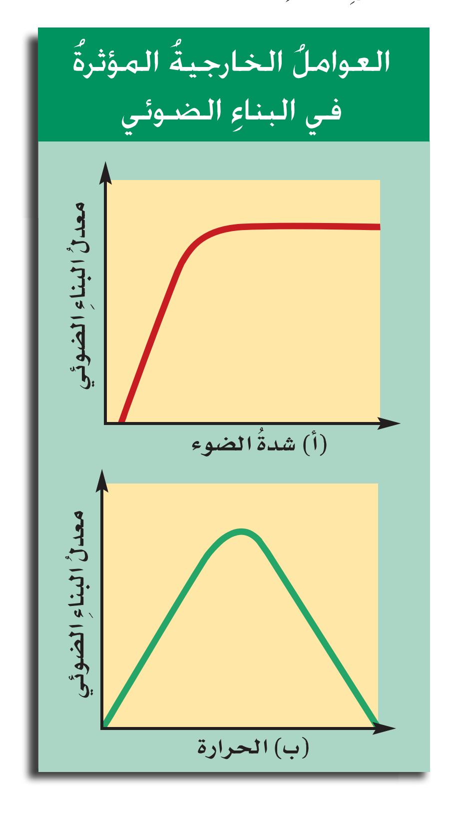
يتأثرُ معدَّلُ البناءِ الضوئيِّ بالعواملِ الخارجيةِ المحيطةِ بالنبات. ومن أهمِّ هذه العوامل، **شدةُ الضوء**. الشكل 2-9 أ يبينُ كيف يزدادُ معدَّلُ البناءِ الضوئيِّ في الأساسِ مع ارتفاعِ شدةِ الضوء، ثم يبلغُ مستوىً ثابتًا، هذا المستوى يمثلُ المعدلَ الأقصى للبناءِ الضوئي. لكنَّ زيادةَ شدةِ الضوءِ تُسببُ إثارةَ المزيدِ من الإلكتروناتِ في جزيئاتِ الكلوروفيل في النظامين الضوئيين معًا. ومع إثارةِ المزيدِ من الإلكترونات، تتمُّ التفاعلاتُ الضوئيةُ بسرعةٍ أكبر. و على أيِّ حال فعند شدةٍ معيّنةٍ للضوءِ تتمُّ إثارةُ جميعِ الإلكتروناتِ المتوافرة، والارتفاعُ الإضافيُّ اللاحقُ في شدةِ الضوءِ لن يزيدَ من معدل البناءِ الضوئي.

**ثاني أكسيدِ الكربون** هو مؤثرٌ مهمٌّ آخرُ في البناءِ الضوئي. وعلى نحو الارتفاعِ في شدةِ الضوء فإن ارتفاعَ مستوى ثاني أكسيدِ الكربون حول النباتِ يحفزُ البناءَ الضوئيَّ إلى أن يصبحَ معدَّلُهُ مستقرًا. بهذا يكونُ الرسمُ البيانيُّ لمعدَّلِ البناءِ الضوئيِّ المرتبطِ بدرجةِ تركيزِ ثاني أكسيدِ الكربون مشابهًا لما في الشكل 2-9 أ.

ومن العواملِ الخارجيةِ المؤثرةِ في معدل البناءِ الضوئيِّ **درجةُ الحرارة**. فارتفاعُ درجةِ الحرارةِ يُسرِّعُ التفاعلاتِ الكيميائيةَ المتنوعةَ المعنيةَ بالبناءِ الضوئي. ونتيجةً لذلك، يزدادُ معدلُ البناءِ الضوئيِّ مع الارتفاعِ في درجةِ الحرارة، ضمن نطاقٍ معين. هذا التأثيرُ يظهرُ في النصفِ الأيسرِ من المنحنى البيانيِّ في الشكل 2-9 ب. يبلغُ معدلُ البناءِ الضوئيِّ ذروتَهُ عمومًا عند درجةِ حرارةٍ معينة، وعندَ هذهِ الدرجةِ يبدأُ عددٌ من الأنزيماتِ التي تحفزُ التفاعلاتِ في البناءِ الضوئيِّ بفقدِ استقرارِها وفعاليتِها. كذلكَ تبدأ الثغورُ بالانغلاق، مما يحدُّ من فقدِ الماءِ ومن دخولِ ثاني أكسيدِ الكربون إلى الأوراق. هذه الظروفُ تسببُ الانخفاضَ في معدلِ البناءِ الضوئيِّ لدى تواصلِ الارتفاعِ في درجةِ الحرارة، على النحوِ المبيّنِ في النصفِ الأيمنِ من المنحنى البيانيِّ للشكل 2-9 ب.

**الشكل 2-9**

تؤثرُ العواملُ الخارجيةُ في معدل البناءِ الضوئيِّ لدى النباتات. (أ) فيما ترتفعُ شدةُ الضوءِ يزدادُ معدلُ البناءِ الضوئيِّ ثم يصلُ إلى حدِّهِ الأقصى. (ب) فيما ترتفعُ درجةُ الحرارةِ يزدادُ معدلُ البناءِ الضوئيِّ حتى أقصاه، ثم ينخفضُ مع تواصلِ الارتفاعِ في درجةِ الحرارة.




## مراجعةُ القسم 2-2

1. في أيِّ جزءٍ من البلاستيدةِ الخضراءِ تتمُّ دورةُ كالفن؟
2. صفْ ما يحدثُ لجزيئاتِ المادةِ PGAL التي تُصْنَعُ في دورةِ كالفن.
3. كم من المراتِ نحتاجُ إلى دورة كالفن لإنتاج جزيءٍ واحدٍ من المادة PGAL؟ كم من جزيئاتِ ATP و NADPH يُستخدَمُ في هذه العملية؟
4. ماذا يعني مصطلحُ «تثبيتِ الكربون» في عمليةِ البناءِ الضوئي؟
5. ما العواملُ الخارجيةُ التي تؤثرُ في البناء الضوئي؟
6. **تفكيرٌ ناقد** لماذا يزدادُ معدلُ البناءِ الضوئيِّ ثم يبلغُ الاستقرار، مع استمرارِ ارتفاعِ درجةِ تركيزِ ثاني أكسيدِ الكربونِ الذي يحيطُ بالنبات؟

# مراجعةُ الفصل 2

## ملخص / مفردات

**1-2** ■ تقومُ عمليةُ البناءِ الضوئيِّ بتحويلِ طاقةِ الضوءِ إلى طاقةٍ كيميائيةٍ عبرَ مجموعةٍ معقدةٍ من التفاعلاتِ تعرفُ باسمِ المساراتِ الكيميائيةِ الأحيائية. الكائناتُ الحيةُ ذاتيةُ التغذيةِ تعتمدُ البناءَ الضوئيَّ في صنعِ المركّباتِ العضوية، انطلاقًا من ثاني أكسيدِ الكربونِ والماء.

■ تتمُّ عمليةُ البناءِ الضوئيِّ في النباتاتِ والطحالبِ، داخلَ البلاستيداتِ الخضراء.

■ يتألفُ الضوءُ الأبيضُ الصادرُ عن الشمسِ من مصفوفةٍ من الألوانِ تسمى الطيفَ المرئي. للألوانِ المختلفةِ في الطيفِ المرئيِّ أطوالٌ موجيَّةٌ مختلفة.

■ تمتصُّ الأصباغُ ألوانَ ضوءٍ محددةً وتعكِسُ أو تنقُلُ ألوانًا أخرى.

■ تبدأ التفاعلاتُ الضوئيةُ، في البناءِ الضوئي، بامتصاصِ الضوءِ عبر الكلوروفيل أ وعبر الأصباغِ المساعدةِ الموجودةِ في الثايلوكويدات.

■ تمتصُّ الأصباغُ المساعدةُ ألوانَ الضوءِ التي لا يمتصُّها الكلوروفيل أ، وتنقلُ بعضَ طاقةِ هذا الضوءِ إلى الكلوروفيل أ.

■ تنتقلُ الإلكتروناتُ المثارةُ، التي تغادرُ الكلوروفيل أ، على طولِ سلسلتين لنقلِ الإلكترونات، فتنتُجُ مادة NADPH. تُستبدلُ الإلكترونات عندما يتفكّكُ الماءُ إلى إلكتروناتٍ وبروتوناتٍ وأكسجين في الثايلاكويد. يتمُّ إطلاقُ الأكسجين كمادةٍ منتَجةٍ فرعيةٍ لعمليةِ البناءِ الضوئي.

■ فيما تنتقل الإلكتروناتُ على طولِ سلاسلِ نقلِ الإلكترونات، يتنامى منحدرُ تركيزِ البروتوناتِ عبرَ غِشاءِ الثايلوكويد. يؤدي انتقالُ البروتوناتِ في اتجاهِ أسفلِ منحدَرِ التركيزِ إلى بناءِ الأدينوسين ثلاثيِّ الفوسفاتِ من خلالِ الأسموزيةِ الكيميائية.

### مفردات

**الأدينوسين ثنائيُّ الفوسفات** (23) Adenosine diphosphate
**الأسموزيةُ الكيميائية** (23) Chemiosmosis
**أنزيمُ بناءِ الأدينوسين ثلاثيِّ الفوسفات** (23) ATP synthase
**البناءُ الضوئي** (19) Photosynthesis
**التفاعلاتُ الضوئية** (20) Light reactions
**الحشوة** (20) Stroma
**سلسلةُ نقلِ الإلكترونات** (22) Electron transport chain
**الصِّبْغ** (20) Pigment
**الصبغُ المساعد** (21) Accessory pigment
**الطولُ الموجي** (20) Wavelength
**الطيفُ المرئي** (20) Visible spectrum
**الكاروتينويد** (21) Carotenoid
**الكرانُم** (20) Granum
**الكلوروفيل** (21) Chlorophyll
**المسارُ الكيميائيُّ الأحيائي** (19) Biochemical pathway
**مستقبِلُ الإلكترونات الأولي** (22) Primary electron acceptor
**النظامُ الضوئي** (21) Photosystem
**النظامُ الضوئيُّ الأول** (21) Photosystem I
**النظامُ الضوئيُّ الثاني** (21) Photosystem II
(22) $NADP^+$

**2-2** ■ تقومُ المادة ATP والمادة NADPH، الناتجتانِ من التفاعلاتِ الضوئية، بتشغيلِ الجزءِ الثاني من عمليةِ البناءِ الضوئي، أي دورةِ كالفن. في دورةِ كالفن يتمُّ تثبيتُ ثاني أكسيدِ الكربونِ ضمنَ المركّباتِ العضوية. وهي عمليةٌ تُسمى تثبيتَ الكربون.

■ تُنتِجُ دورةُ كالفن مركّبًا يسمّى PGAL. نحتاجُ إلى ثلاثِ دوراتِ كالفن لإنتاجِ جزيءٍ واحدٍ من مادة PGAL.

■ يتمُّ تحويلُ معظمِ جزيئاتِ PGAL إلى جزيءٍ آخرَ يوفرُ استمرارَ عملِ دورةِ كالفن. إلاّ أن بعضَ جزيئاتِ المادةِ يُستخدمُ في صنعِ مركّباتٍ عضويةٍ أخرى، من ضمنها أحماضٌ أمينيةٌ ودهونٌ وكربوهيدرات.

■ في المعادلةِ الإجماليةِ للبناءِ الضوئي، يشكلُ ثاني أكسيدِ الكربونِ والماءُ المادتينِ المتفاعلتين، ويشكلُ الكربوهيدراتُ والأكسجينُ المادتينِ الناتجتين.

■ يزدادُ معدلُ البناءِ الضوئيِّ ثم يبلغُ الاستقرارَ مع الارتفاعِ في شدةِ الضوءِ أو في درجةِ تركيزِ ثاني أكسيدِ الكربون. ويزدادُ معدلُ البناءِ الضوئيِّ مع الارتفاعِ في درجةِ الحرارةِ إلى حدٍّ معيَّن، وينخفضُ مع استمرارِ الارتفاعِ في درجةِ الحرارةِ فوقَ هذا الحد.

### مفردات

**تثبيتُ الكربون** (24) Carbon fixation
**دورةُ كالفن** (24) Calvin cycle
(24) PGA
(24) PGAL
(24) RuBP

## مراجعة

### مفردات

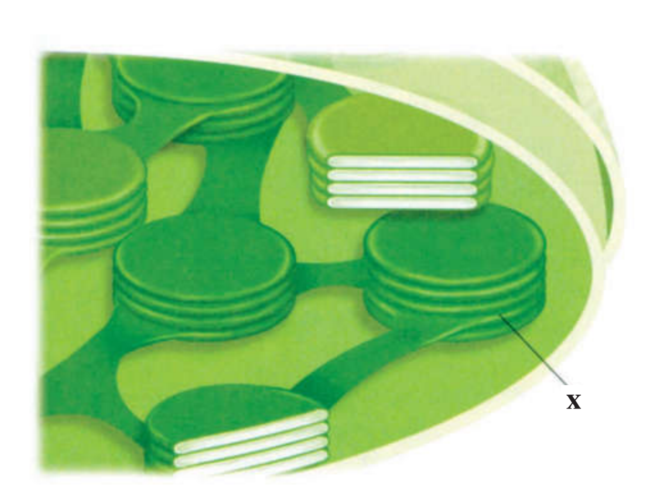
1. ما المسارُ الكيميائيُّ الأحيائي؟
2. اخترِ المصطلحَ الذي لا ينتمي إلى المجموعةِ التاليةِ مع ذكرِ السبب: سلسلةُ نقلِ الإلكترونات، الأسموزيةُ الكيميائية، دورةُ كالفن، النظامُ الضوئيُّ الثاني.

### اختيارٌ من مُتعدِّد

3. المادةُ الناتجة في المعادلةِ الإجماليةِ للبناءِ الضوئيِّ هي (أ) الأكسجين (ب) ثاني أكسيدِ الكربون (ج) الماء (د) RuBP.
4. المادةُ المتفاعلةُ المستخدمَةُ في دورةِ كالفن هي (أ) الماء (ب) الكلوكوز (ج) ثاني أكسيدِ الكربون (د) الأكسجين.
5. الأصباغُ المساعدةُ (أ) تضيفُ الألوانَ إلى النباتات، إلا أنها لا تمتصُّ طاقةَ الضوء (ب) تمتصُّ ألوانَ الضوءِ التي لا يمكنُ أن يمتصَّها الكلوروفيل أ (ج) تتلقى الإلكتروناتُ من سلسلةِ نقلِ الإلكتروناتِ للنظامِ الضوئيِّ الأول (د) غيرُ معنيةٍ بعمليةِ البناءِ الضوئي.
6. خلال عمليةِ البناءِ الضوئي، يتمُّ إنتاجُ الأكسجين عندما (أ) يتمُّ تحويلُ PGA إلى PGAL (ب) يتمُّ تثبيتُ ثاني أكسيدِ الكربون (ج) يتمُّ تفكيكُ الماء (د) يتمُّ تحويلُ ATP إلى ADP.
7. تحصلُ التفاعلاتُ الضوئيةُ (أ) عند الغشاءِ الخارجيِّ للبلاستيدةِ الخضراء (ب) في الحشوة (ج) في السيتوسول (د) عند غشاءِ الثايلوكويد.
8. يتمُّ خلالَ الأسموزيةِ الكيميائية (أ) بناءُ ATP انطلاقًا من ADP (ب) بناءُ NADPH انطلاقًا من $NADP^+$ (ج) تفكيكُ الماء (د) إزالةُ الإلكتروناتِ من جزيئاتِ الكلوروفيل.
9. أيٌّ من التالي ليسَ جزءًا من التفاعلاتِ الضوئية؟ (أ) تفكيكُ الماء (ب) نقلُ الإلكترونات (ج) تثبيتُ الكربون (د) امتصاصُ طاقةِ الضوء.
10. معظمُ المادة PGAL، التي تُصنَعُ في دورةِ كالفن، يُستخدمُ في (أ) بناءِ الكربوهيدرات. (ب) الإبقاءِ على الدورةِ عاملة. (ج) تحويلِ طاقةِ الضوءِ إلى طاقةٍ كيميائية. (د) تسييرِ التفاعلاتِ الضوئية.
11. تتمُّ تفاعلاتُ دورةِ كالفن (أ) عندَ الغشاءِ الخارجيِّ للبلاستيدةِ الخضراء (ب) في الحشوة (ج) في السيتوسول (د) عند غشاءِ الثايلوكويد.

### إجابةٌ قصيرة

12. ما الفرقُ بين دورِ النظامِ الضوئيِّ الأولِ ودورِ النظامِ الضوئيِّ الثاني في البناءِ الضوئي؟
13. بيِّن أن دورةَ كالفن هي مثالٌ على مسارٍ كيميائيٍّ أحيائي.
14. لماذا تبدو أوراقُ بعضِ النباتاتِ خضراءَ اللونِ خلالَ فصلِ الصيف، ثم تتحولُ إلى اللونِ الأصفرِ أو البرتقاليِّ أو البنيِّ خلالَ فصلِ الخريف؟
15. الرسمُ التالي يبيِّنُ جزءًا من بلاستيدةٍ خضراء. تعرَّفْ إلى التركيبِ الذي يشارُ إليه بالحرف X في الرسم. في أثناءِ البناءِ الضوئي، هل يكونُ تركيزُ البروتوناتِ أعلى داخلَ هذا التركيبِ أم في الحيِّزِ المحيطِ به؟



## تفكيرٌ ناقد

1. قالَ عالِمٌ شهيرٌ أنه حيثما توجدُ الحياةُ في هذا الكون، يلزمُ أن تكونَ أشكالُ الحياةِ تلك ذاتَ ألوان. ما رأيكَ بهذا القول؟
2. أحدُ الأصباغِ المساعدةِ والمستخدمةِ في البناءِ الضوئيِّ هو كاروتين – $\beta$، وهو كاروتينويد موجودٌ في الجزرِ بتركيزٍ عالٍ. عندما يتفككُ جزيءٌ واحدٌ من الكاروتين – $\beta$، بواسطةِ أنزيمٍ معيَّن، يتمُّ إنتاجُ جزيئينِ من الفيتامين أ. تؤدي إزالةِ ذرّةِ هيدروجينٍ من الفيتامين أ إلى إنتاجُ الريتينال، وهو الصِّبغُ المعنيُّ بالإبصار. وضِّحْ سببَ أهميةِ أكلِ الجَزَرِ بالنسبةِ للرؤيةِ الجيدة.
3. تقعُ جميعُ المكِّوناتِ الرئيسةِ للتفاعلاتِ الضوئية، ومن ضمنِها جزيئاتُ الأصباغِ المتجمعةِ ككتلٍ في النظامِ الضوئيِّ الأولِ وفي النظامِ الضوئيِّ الثاني، داخلَ غشاءِ الثايلاكويد. ما الفائدةُ من حصرِ تلك المكوناتِ في الغشاء نفسِهِ بدلاً من إذابتِها في الحُشوةِ أو في السيتوسول؟
4. بعضُ البكتيريا تُنفِّذُ نوعًا من البناءِ الضوئيِّ يَصنعُ الأدينوسينَ ثلاثيَّ الفوسفات، لكنها لا تصنعُ مادة NADPH ولا تُفككُ الماء. ما التغيرُ الذي كانَ يمكنُ أن يحصلَ، بحيثُ يكونُ التنفسُ الخلويُّ مختلفًا، لو أن هذا النوعَ من البناءِ الضوئيِّ هو العملية الوحيدة، ما التغير الذي سيحدث؟

## توسيعُ آفاقِ التفكير

1. عندما يتمُّ حجبُ أشعةِ الشمسِ من قبلِ غابةٍ كثيفة، أو غيومٍ أو غبارٍ صادرٍ عن ثورانٍ بركاني، أو دخانٍ صادرٍ عن حريق كبير، ماذا يكونُ تأثيرُ ذلك، في البناءِ الضوئي؟ كيف يمكنُ لهذا أن يؤثرَ في مستوى كلٍّ من ثاني أكسيدِ الكربون والأكسجين، في جوِّ كوكبِ الأرض؟ ما التجاربُ التي يمكنُ أن يقومُ بها العلماءُ، في المختبر، لاختبارِ توقعاتِك؟
2. خذ عيِّنةً من طحلبِ بركةِ ماء. اقسم العينةَ إلى قسمين، وضَعْ كلَّ قسمٍ في وعاءٍ ذي غطاء، واجعلْ وعاءً في الضوءِ والآخرَ في الظلمة. ثبِّت درجة الحرارةِ للوعائينِ يوميًّا، ولمدةِ 10 أيام، لاحظ الطحلبَ بواسطةِ مجهرٍ تشريحي. ارسُمْ الكائناتِ الحيةَ والفتاتَ مثلما تراها وسجِّلْ ملاحظاتك. ماذا تفيدُكَ ملاحظاتُكَ حولَ دورِ الضوءِ في الحياةِ داخلَ البركة؟

## الفصلُ 3

# التنفُّسُ الخَلويّ



يحصلُ دبُّ البندا العملاق، على المركّباتِ العضويةِ عن طريقِ استهلاكِ كائناتٍ حيةٍ أخرى. تنقلُ المساراتُ الكيميائيةُ الأحيائيةُ المتوافرةُ داخلَ خلايا دبِّ البندا الطاقةَ من تلك المركّباتِ إلى الأدينوسين ثلاثيِّ الفوسفات.

**المفهومُ الرئيس:** المادةُ والطاقةُ والتنظيم

وأنت تقرأ، قارنْ بين المساراتِ الكيميائيةِ الأحيائيةِ التي جرى وصفُها في هذا الفصل، وبين المساراتِ التي تمَّتْ دراستُها في فصلِ البناءِ الضوئي.

القســـم

1-3

## مؤشراتُ الأداء

▲ يوضِّحُ ما المقصودُ بالتنفسِ الخلوي.

● يتتبَّعُ الأحداثَ الرئيسةَ في التحلُّلِ السكريِّ ونواتجِه.

■ يقارنُ بين التخمُّرِ اللَّبَنيِّ والتخمُّرِ الكحولي.

◆ يحسُبُ كفاءةَ التحلُّلِ السكري.

# التحلُّلُ السكريُّ والتخمُّرُ

تفكِّكُ الخلايا المركّباتِ العضويةَ المعقدةَ وتحوِّلُها إلى جزيئاتٍ أبسط. تستخدمُ الخلايا بعضًا من الطاقةِ التي تُطلَقُ في هذه العمليةِ لبناءِ الأدينوسينِ ثلاثيِّ الفوسفات.

## تحصيلُ الطاقةِ الكيميائية

تعلَّمتَ في الفصل 2 أن الكائناتِ الحيةَ ذاتيةَ التغذية، كالنباتات، تستخدمُ البناءَ الضوئيَّ في تحويلِ طاقةِ ضوءِ الشمسِ إلى طاقةٍ كيميائيةٍ تُخزَنُ في الكربوهيدرات، وفي مركّباتٍ عضويةٍ أخرى. تعتمدُ الكائناتُ الحيَّةُ ذاتيةُ التغذيةِ وغيرُ ذاتيةِ التغذيةِ معًا، على تلك المركّباتِ العضويةِ لتوفيرِ الطاقةِ التي تسيِّرُ الأنشطةَ الخلوية. تُطلِقُ الخلايا الطاقةَ عبرَ تفكيكِ تلكَ المركّباتِ وإحالتِها إلى جزيئاتٍ أبسط. بعضُ هذهِ الطاقةِ يُستخدمُ في بناءِ ATP من ADP والفوسفات. تذكّرْ، من الصف العاشر، الفصل 2، أن ATP هو «العُمْلةُ المتداوَلةُ» الرئيسةُ للطاقةِ بالنسبةِ للخلايا، والعمليةُ المعقَّدةُ التي تعتمدُها الخلايا في بناءِ ATP، عبر تفكيكِ المركّباتِ العضوية، تُعرَفُ باسمِ **التنفُّسَ الخلويّ Cellular respiration**.

لاحظْ في الشكل 3-1، أن التنفسَ الخلويَّ يبدأُ بمسارٍ كيميائيٍّ أحيائيٍّ يُسمّى **التحلُّلَ السكريّ Glycolysis** تنجمُ عنه كميةٌ صغيرةٌ نسبيًّا من ATP . يمكنُ للموادِّ الأخرى الناتجةِ من عمليةِ التحلُّلِ السكريِّ أن تتبعَ أحدَ مسارين رئيسين، وذلك وفقًا لوجودِ الأكسجين أو عدمِ وجودِه في الخلية. ففي غيابِ الأكسجين، يمكنُ لمنتجاتِ التحلُّلِ السكريِّ أن تدخلَ مساراتِ التخمُّرِ التي لا ينجمُ عنها أيُّ ATP إضافي. وبما أن مساراتِ التخمرِ تعملُ في غيابِ الأكسجين، فإنها تُسمّى **مساراتٍ لاهوائية Anaerobic pathways**. أما إذا كان الأكسجينُ موجودًا فإن الموادَّ المُنتَجَةَ عبر التحلُّلِ السكريِّ تدخلُ مساراتِ التنفسِ الهوائي.

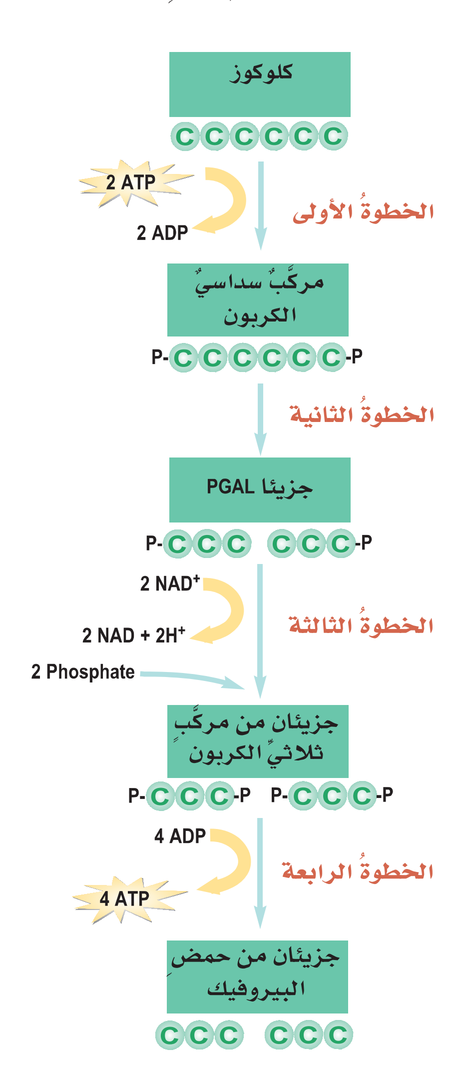


**الشكل 3-1**
التنفسُ الخلويُّ يستخدمُ طاقةَ المركباتِ العضويةِ لإنتاج ATP. ويُنتِجُ المسارُ الأوليُّ في التنفسِ الخلوي، الذي يُسمَى التحلُّلَ السكريَّ، كميةَ صغيرةَ من ATP. يمكنُ للتحلُّلِ السكريِّ هذا أن يؤديَ إلى التخمرِ إذا لم يكن الأكسجينُ موجودًا. أو إلى تنفسٍ هوائيٍّ في حالِ وجودِ الأكسجين. ينتجُ معظمُ ATP عن التنفسِ الهوائي عبرَ التنفسِ الخلويّ.

يُنتِجُ التنفسُ الهوائيُّ من ATP كميةً أكبرَ بكثيرٍ مما تنتجهُ عمليةُ التحلُّلِ السكريِّ وحدَها.

يشكِّلُ العديدُ من التفاعلاتِ، في التنفسِ الخلويِّ، تفاعلاتِ أكسدةٍ واختزالٍ. تذكّرْ من الصفِّ العاشرِ، الفصل 2، أن أكسدةَ مادةٍ متفاعلةٍ يصاحبُها اختزالُ مادةٍ متفاعلةٍ أخرى، خلال تفاعلٍ ما لأكسدةٍ واختزالٍ. وبالرغمِ من إمكانيةِ تأكسدِ أصنافٍ كثيرةٍ من المركّباتِ العضويةِ، في التنفسِ الخلويِّ، فإن التركيزَ يجري عادةً على سكّرِ الكلوكوز، الذي تبدأُ عمليةُ أكسدتِهِ عن طريقِ التحلُّلِ السكريِّ.

## التحلُّلُ السكّريّ




**الشكل 2-3**
الخطواتُ الرئيسةُ لعمليةِ التحللِ السكريِّ.

إن التحلُّلَ السكريَّ مسارٌ يتأكسدُ خلالَهُ جزيءٌ من الكلوكوز سداسيِّ الكربون، لإنتاجِ جزيئين ثلاثيِّ الكربون من **حمض البيروفيك Pyruvic acid**. ويتكونُ التحلُّلُ السكريُّ، كما في مساراتٍ كيميائيةٍ أحيائيةٍ أخرى، من سلسلةٍ من التفاعلاتِ الكيميائيةِ التي يتمُّ تحفيزُها بواسطةِ أنزيماتٍ خاصةٍ بها في سيتوسولِ الخليةِ. ويُمكنُ تلخيصُ تلك التفاعلاتِ في أربعِ خُطواتٍ رئيسةٍ. تتبّعْ هذه الخُطواتِ في الشكل 2-3.

الخطوةُ الأولى: يتمُّ ربطُ مجموعتينِ فوسفاتيتينِ بالكلوكوز فيتكوّنُ مركّبٌ جديدٌ سداسيُّ الكربونِ مفسفر، ويتمُّ التزويدُ بالمجموعاتِ الفوسفاتيةِ باستخدامِ جزيئينِ من ATP يجري تحويلُهما، خلالَ العمليةِ، إلى جزيئينِ من ADP.

الخُطوةُ الثانيةُ: يتحوَّلُ المركّبُ السداسيُّ الكربونِ المفسفرِ الذي تشكَّلَ في الخُطوةِ الأولى إلى جزيئينِ ثلاثيَّيِ الكربونِ من PGAL. تذكَّرْ أن إنتاجَ PGAL يتمُّ أيضًا عبر دورةِ كالفن، في البناءِ الضوئيِّ.

الخُطوةُ الثالثةُ: تتمُّ أكسدةُ جزيئَيْنِ من PGAL، ويستقبلُ كلٌّ منهما مجموعةً فوسفاتيةً. وكما ترى في الشكل 2-3، تترافقُ أكسدةُ PGAL مع اختزالِ جزيئَيْنِ من **$NAD^+$** إلى NADH. إن $NAD^+$، شبيهٌ جدًّا بـ $NADP^+$، وهو مركّبٌ يؤدي دورًا في التفاعلاتِ الضوئيةِ للبناءِ الضوئيِّ. و$NAD^+$ مثلُ $NADP^+$، جزيءٌ عضويٌّ يستقبلُ إلكتروناتٍ خلالَ تفاعلاتِ الأكسدةِ والاختزالِ.

الخُطوةُ الرابعةُ: تتمُّ إزالةُ المجموعاتِ الفوسفاتيةِ التي أضيفت في الخُطوتينِ الأولى والثالثةِ من المركباتِ الثلاثيةِ الكربونِ التي تشكلتْ في الخُطوةِ الثالثةِ. يُنتِجُ هذا التفاعلُ جزيئينِ من حمضِ البيروفيك. تتَّحِدُ كلُّ مجموعةٍ فوسفاتيةٍ بجزيءِ ADP لصنعِ جزيءِ ATP. وبحكمِ إضافةِ أربعِ مجموعاتٍ فوسفاتيةٍ عبرَ الخُطوتينِ الأولى والثالثةِ، كمجموعٍ، يتم إنتاجُ أربعةِ جزيئاتٍ من الأدينوسين ثلاثيِّ الفوسفات.

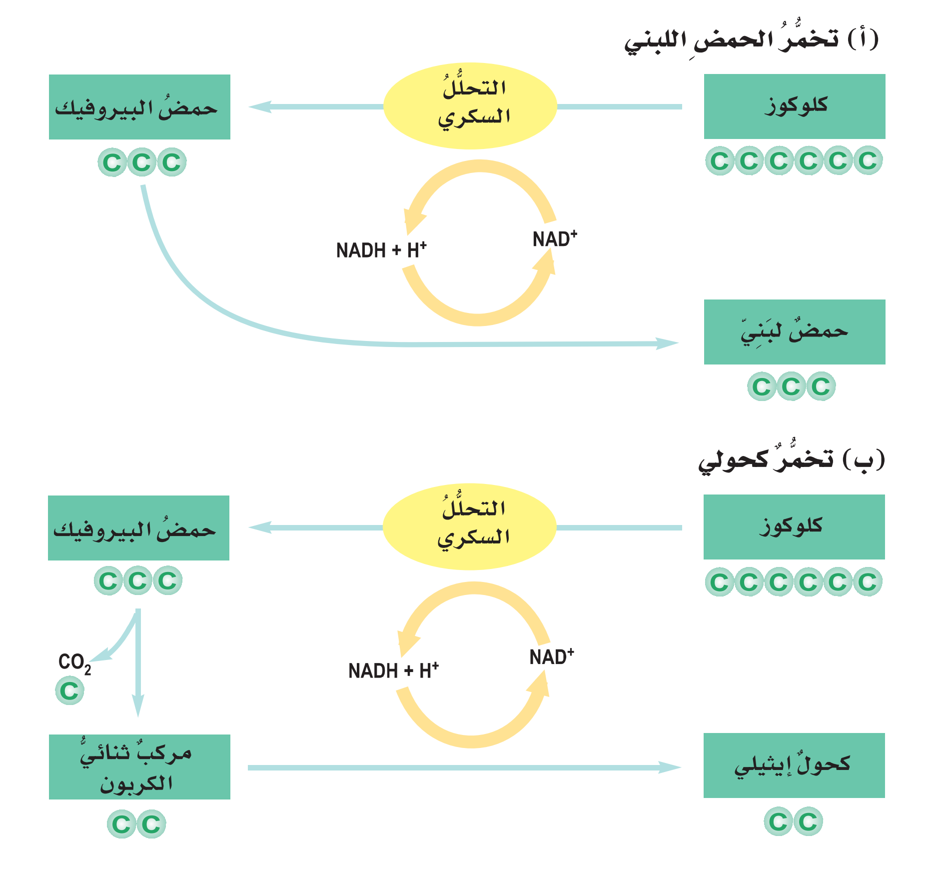
تنبّهْ إلى أنه جرى استخدامُ جزيئَيْنِ من ATP في الخطوةِ الأولى، بينما تمَّ إنتاجُ أربعةِ جزيئاتِ ATP من خلالِ الخطوةِ الرابعةِ. إذن ينتُجُ من التحلُّلِ السكريِّ، وبشكلٍ واضحٍ، جزيئانِ من ATP من كلِّ جزيءِ كلوكوز، ويتحولُ الكلوكوزُ إلى حمضِ البيروفيك. أما ما يحدثُ لحمضِ البيروفيك فيعتمدُ على نوعِ الخليةِ وعلى وجودِ الأكسجينِ أو عدمِه.

# التخمُّر

في غيابِ الأكسجين، تُحوّل بعضُ الخلايا حمضَ البيروفيك إلى مركَّباتٍ أخرى، عبرَ مساراتٍ كيميائيةٍ أحيائيةٍ إضافيةٍ تحدثُ في السيتوسول، تُعرَفُ هذهِ المساراتُ الإضافيةُ والتحلُّلُ السكّريُّ معًا باسمِ **التخمُّر Fermentation**. إنَّ المساراتِ الإضافيةَ لعمليةِ التخمُّرِ لا تُنتِجُ ATP، إنما تُعيدُ إنتاجَ $NAD^+$ الذي يمكنُ استخدامُهُ في تحقيقِ الاستمرارِ لعمليةِ التحلُّلِ السكريِّ لإنتاجِ المزيدِ من ATP. وهناك مساراتُ تخمّرٍ عديدة، تختلفُ من جهةِ الأنزيماتِ المستخدمةِ والمركّباتِ التي تُصنَعُ انطلاقًا من حمضِ البيروفيك. وهناك مسارانِ شائعانِ للتخمّرِ يؤديانِ إلى إنتاجِ حمضٍ لَبَنِيٍّ وكحولٍ إيثيلي.

## تخمُّرُ الحمضِ اللبَني

في **تخمّرِ الحمضِ اللبَني Lactic acid fermentation** يقومُ أنزيمٌ بتحويلِ حمضِ البيروفيك إلى مركّبٍ آخرَ ثلاثيِّ الكربون يسمى الحمضَ اللبَنِيّ. كما يظهرُ في الشكل 3-3 أ. تتضمنُ عمليةُ تخمّرِ الحمضِ اللبَنيّ عمليةَ نقلٍ لذرّتَيْ هيدروجين من NADH و$H^+$ إلى حمضِ البيروفيك. وتتمُّ خلالَ العمليةِ أكسدةُ NADH لتكوينِ $NAD^+$، الذي يُستخدَمُ في عمليةِ التحلُّلِ السكري، حيث يجري اختزالُهُ من جديد ليتحولَ إلى NADH. وبذلك، فإن إعادةَ إنتاجِ $NAD^+$ من خلالِ تخمُّرِ الحمضِ اللبَنيِّ يساعدُ على استمرارِ تسييرِ التحلُّلِ السكري.




**الشكل 3-3**

(أ) تقومُ بعضُ الخلايا بعمليةِ تخمّرِ الحمضِ اللبَني مع غيابِ الأكسجين. خلالَ هذهِ العمليةِ يتمُّ اختزالُ حمضِ البيروفيك إلى حمضٍ لبَني و NADH ، وتجري أكسدةُ NADH فيتحولُ إلى $NAD^+$. (ب) تقومُ خلايا أخرى بتخميرٍ كحولي، فيتحولُ حمضُ البيروفيك إلى كحولٍ إيثيلي. وتتمُّ من جديد أكسدةُ NADH إلى $NAD^+$.

**جذرُ الكلمةِ وأصلُها**

التخمُّر
fermentation
من اللاتينية fermentum، ومعناها «الخميرة»

يُؤدي تخمّرُ الحمضِ اللبَنيِّ، بما فيه من الكائناتِ الحيةِ الدقيقةِ المجهرية، دورًا أساسيًّا في صناعةِ المنتجاتِ الغذائيةِ كاللبَنِ والجبن، كما في الشكل 3-4. يَحْدثُ تخمّرُ الحمضِ اللبَنيِّ كذلك في خلايا عضلاتِك في أثناءِ تمارينَ رياضيةٍ قاسيةٍ كالركضِ السريعِ عند السرعةِ القصوى، وخلال هذا النوعِ من التمارين، تستنفدُ خلايا العضلاتِ الأكسجينَ بسرعةٍ أكبرَ من إمكانِ إمدادِها به. ومع زوالِ الأكسجين تبدأُ خلايا العضلات بالانتقالِ من التنفسِ الهوائيِّ إلى تخميرِ الحمضِ اللبَني، ويتراكمُ الحمضُ اللبَنيُّ في خلايا العضلات، مما يجعلُ سيتوسول الخلايا أكثرَ حمضية، فتنخفضُ قدرةُ الخلايا على الانقباض، مما يؤدي إلى تعبٍ وألم، وحتى إلى تشنجٍ في العضلات. أخيرًا ينتشرُ الحمضُ اللبَنيُّ في الدمِ ويجري نقلُهُ إلى الكبدِ حيث يُعادُ تحويلُهُ إلى حمضِ البيروفيك عند توفّرِ الأكسجين.

## التخمُّرُ الكحولي

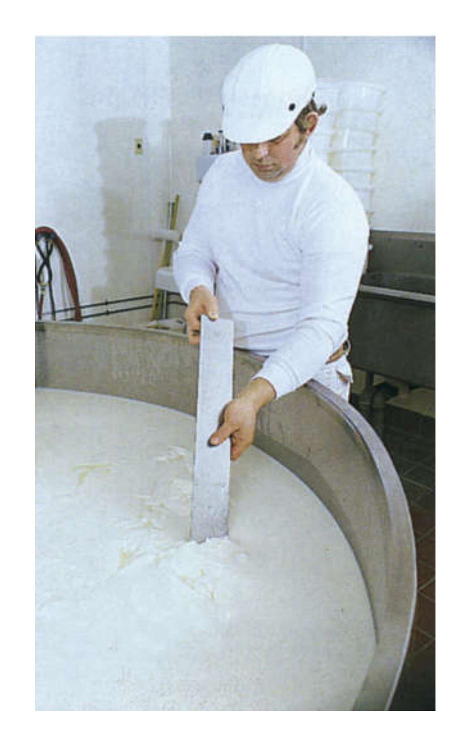
تَستخدمُ بعضُ الخلايا النباتيةِ والكائناتُ الحيةُ أُحاديةُ الخلية، كفطرِ الخميرة، **التخمرَ الكحولي Alcoholic fermentation** لتحويلِ حمضِ البيروفيك إلى كحولٍ إيثيلي. ويتطلبُ هذا المسارُ خُطوتين تظهرانِ في الشكل 3-3 ب. في **الخطوةِ الأولى**، تتمُّ إزالةُ جزيءِ ثاني أكسيدِ الكربون من حمضِ البيروفيك، فينتُجُ عن ذلكَ مركّبٌ ثنائيُّ الكربون. وفي **الخطوةِ الثانية**، تضافُ ذرّتا هيدروجين إلى المركّبِ الثنائيِّ الكربون ليتكونَ كحولٌ إيثيلي. وكما في تخمّرِ الحمضِ اللبَنيّ، تصدرُ ذرّاتُ الهيدروجين تلك عن NADH و$H^+$، فيعادُ إنتاجُ $NAD^+$ لاستخدامِهِ في التحلُّلِ السكري.

تعتمدُ صناعةُ الخبزِ على التخمّرِ الكحوليِّ الذي تقومُ به خلايا فطرِ الخميرة. وفي هذهِ الحالة، يؤدي ثاني أكسيدِ الكربونِ الذي يُنتجه التخمّرُ إلى جعلِ الخبزِ ينتفخُ ويكوّنُ الفقاعاتِ داخلَ العجين. ويتبخرُ كحولٌ إيثيليٌّ خلالَ عمليةِ الخَبيز.

## الطاقةُ الناتجةُ عن التحلُّلِ السكَّري

ما مقدارُ كفاءةِ المساراتِ اللاهوائيةِ في الحصولِ على الطاقةِ من الكلوكوز وفي استخدامِها في بناءِ ATP من ADP؟ للإجابةِ عن هذا السؤال، يجبُ على المتعلم أن يقارنَ بين كميةِ الطاقةِ المتوفرةِ في الكلوكوز وكميةِ الطاقةِ في ATP الذي يتمُّ إنتاجُهُ خلالَ المساراتِ اللاهوائية. في مثلِ هذه المقارنات، غالبًا ما يتمُّ قياسُ الطاقةِ بوحداتِ **الكيلوسعر Kilocalories (Kcal)**. الكيلوسعر الواحدُ يساوي ألفَ سعرةٍ حرارية .

قام العلماءُ بعمليةٍ حسابيةٍ بيّنتْ أن الأكسدةَ التامةَ لمولٍ واحد من الكلوكوز تُطلِقُ 686 كيلوسعر داخل معظمِ الخلايا. وتتطلبُ عمليةُ إنتاجِ مولٍ واحد ATP، من ADP، حوالي 12 كيلوسعر. تذكّرْ أنه يتمُّ إنتاجُ جزيئين من ATP بتفكيكِ كلِّ جزيءٍ من



**الشكل 3-4**
في صناعةِ الأجبان، تضافُ الفطريات أو البكتيريا إلى أحواضٍ كبيرةٍ من الحليب. تنفذُ الكائناتُ الحيةُ الدقيقةُ المجهريةُ عمليةَ تخمّرٍ لبَنيٍّ فتحوّلُ بعضَ سكرِ الحليبِ إلى حمضٍ لبَني.

### جذرُ الكلمةِ وأصلُها

**الكيلوسعر**
**kilocalorie**
من اليونانية chilioi ومعناها «ألف»، ومن اللاتينية calor ومعناها «حرارة»

الكلوكوزِ خلالَ عمليةِ التحللِ السكري.

$$\text{كفاءةُ التحللِ السكري} = \frac{\text{الطاقةَ المطلوبةَ لصنعِ ATP}}{\text{الطاقةِ الناتجةِ عن أكسدةِ سكرِ الكلوكوز}}$$

$$= \frac{2 \times 12 \text{ كيلوسعر}}{686 \text{ كيلوسعر}} \times 100\% = 3.5\%$$

يمكنُكَ أن ترى أن جزيئينِ من ATP يتمُّ إنتاجُهُما خلال عمليةِ التحلُّلِ السكري يتلقيانِ نسبةً مئويةً ضئيلةً فقط من الطاقةِ التي يمكنُ إطلاقُها في أثناءِ عمليةِ أكسدةٍ كاملةٍ لكلِّ جزيءٍ من الكلوكوز. والكثيرُ من الطاقةِ الأصليةِ المتواجدةِ في الكلوكوز يظلُّ محتجزًا في حمضِ البيروفيك. ولا يتمُّ بناءُ أي ATP إضافيّ، حتى وإن تمَّ تحويلُ حمضِ البيروفيك إلى حمضٍ لبنيٍّ أو كحولٍ إيثيلي. ومن الواضحِ أن المساراتِ اللاهوائيةَ ليست فعالةً جدًّا في مجالِ انتقالِ الطاقةِ من الكلوكوز إلى الأدينوسين ثلاثيِّ الفوسفات.

توفِّرُ المساراتُ اللاهوائيةُ بذاتِها ما يكفي من الطاقةِ للكثيرِ من الكائناتِ الحية. ومعظمُ الكائناتِ الحيةِ اللاهوائيةِ أحاديةُ الخلية، أمّا الكائناتُ الحيةُ اللاهوائيةُ عديدةُ الخلايا صغيرةٌ للغاية. جميع هذه الكائنات تتطلبُ كمياتٍ محدودةً من الطاقة. أما الكائناتُ الحيةُ الأكبرُ حجمًا فتتطلبُ كمياتٍ أكبرَ بكثيرٍ من الطاقة، مما لا يمكنُ تأمينُهُ من خلالِ المساراتِ اللاهوائيةِ وحدَها. لذلك فهي تلبّي احتياجاتِها من الطاقةِ عبر المساراتِ الأكثرِ فعاليةً لعمليةِ التنفسِ الهوائي.

## مراجعةُ القسم 1-3

1. وضّحِ المقصودَ بالتنفسِ الخلوي.
2. ما الجزيءُ سداسيُّ الكربون الذي تنطلقُ منهُ عمليةُ التحلُّلِ السكري؟ وما الجزيئانُ ثلاثيّا الكربون اللذانِ يتمُّ إنتاجُهما عند انتهاءِ التحلُّلِ السكري؟
3. كم جزيئًا من ATP يجري استخدامُه، وكم جزيئًا من ATP يتمُّ إنتاجُهُ خلال عمليةِ التحلُّلِ السكريِّ لجزيءٍ سداسيِّ الكربون؟
4. ما الظرفُ الواجبُ توفرُهُ في الخليةِ كي تدخلَ في عمليةِ التخمُّر؟
5. ما مقدارُ كفاءةِ التحلُّلِ السكري؟
6. **تفكيرٌ ناقد** الكميةُ الكبيرةُ من ATP داخل الخليةِ توقفُ عملَ الأنزيماتِ التي تحفزُ الخطواتِ الأولى للتحلُّلِ السكري. ما تأثيرُ هذا التوقفِ في كميةِ ATP في الخلية؟ وضّحْ إجابتَك.




# التنفُّسُ الهوائيّ

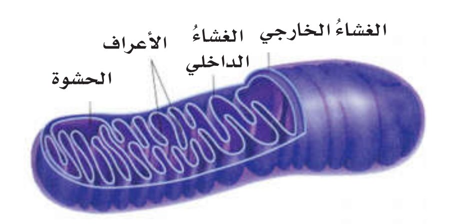
في معظمِ الخلايا لا يخضعُ حمضُ البيروفيك الذي يَنتُجُ عن التحلُّلِ السكريِّ للتخمُّر، بل يدخُل، بدلاً من ذلك، في حال توفُّرِ الأكسجين، مساراتِ **التنفُّسِ الهوائي Aerobic respiration**، أو مساراتِ التنفُّسِ الخلويِّ الذي يتطلبُ توفُّرَ الأكسجين. ويُنتِجُ التنفُّسُ الخلويُّ من ATP ما يقاربُ 20 ضعفًا لما تُنتِجُهُ عمليةُ التحلُّلِ السكريِّ بمفردها.

## نظرةٌ شاملةٌ إلى التنفُّسِ الهوائي

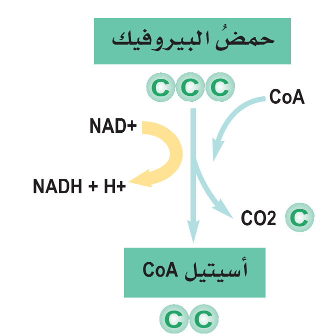
يتضمنُ التنفسُ الهوائيُّ مرحلتين رئيستين، هما دورةُ كربس وسلسلةُ نقلِ الإلكترونات. في دورةِ كربس تكتملُ عمليةُ أكسدةِ الكلوكوز التي كانت قد بدأتْ بعمليةِ التحلُّلِ السكري. وفي مجرى أكسدةِ الكلوكوز، يتمُّ اختزالُ $NAD^+$ إلى NADH. أما في سلسلةِ نقلِ الإلكترونات، فَيُستخدَمُ NADH في بناءِ ATP. وبالرغم من أن دورةَ كربس تنتجُ أيضًا كميةً ضئيلةً من ATP، فإن معظمَ ATP الذي يُنتَجُ خلال عمليةِ التنفسِ الهوائي تَبْنيه سلسلةُ نقلِ الإلكترونات. وتَحدُثُ تفاعلاتُ دورةِ كربس وسلسلةُ نقلِ الإلكترونات فقط في حالِ وجودِ الأكسجين في الخلية.

في الكائناتِ الحيةِ بدائيةِ النواة، تتمُّ تفاعلاتُ دورةِ كربس وسلسلةُ نقلِ الإلكترونات في سيتوسولِ الخلية. وأما في خلايا الكائناتِ الحيةِ حقيقيةِ النواة فتتمُّ التفاعلاتُ داخلَ الميتوكوندريا وليس في السيتوسول. ينتشرُ حمضُ البيروفيك، الذي جرى إنتاجُهُ في أثناءِ عمليةِ التحلُّلِ السكريِّ، عبرَ الغشاءِ المزدوجِ للميتوكوندريون، ويدخلُ **حشوةَ الميتوكوندريون Mitochondrial matrix**. وهي الحيِّزُ الداخليُّ للغشاءِ الداخليِّ للميتوكوندريون. يصوِّرُ الشكل 3-5 العلاقاتِ بينَ أجزاءِ الميتوكوندريون تلك. وتحتوي حشوةُ الميتوكوندريون على الأنزيماتِ اللازمةِ لتحفيزِ تفاعلاتِ دورةِ كربس.

**الشكل 3-5**
تتمُّ لدى الكائناتِ الحيةِ حقيقيةِ النواة، تفاعلاتُ التنفسِ الهوائيِّ داخلَ الميتوكوندريا. تَجري دورةُ كربس في حشوةِ الميتوكوندريون، وتتواجدُ سلسلةُ نقلِ الإلكترونات في الغشاءِ الداخلي.




عندما يدخلُ حمضُ البيروفيك حشوةَ الميتوكوندريون يتفاعلُ مع جزيءٍ يسمّى مرافقَ أنزيم-أ، لتكوينِ **أسيتيل مرافق أنزيم-أ Acetyl coenzyme A**، الذي يُختصَرُ اسمُهُ إلى **أسيتيل CoA**. وهذا التفاعلُ يُشيرُ إليه الشكل 3-6. يحتوي جزءٌ من أسيتيل مرافق أنزيم-أ على ذرّتَيْ كربون، غيرَ أن حمضَ البيروفيك، ووفقًا لما سبقَ أن تعلمتَه، مركّبٌ ثلاثيُّ الكربون. تُطلَقُ ذرّةُ الكربون، التي فُقدتْ في تحويلِ حمضِ البيروفيك إلى أسيتيل CoA، في جزيءٍ من ثاني أكسيدِ الكربون. ويشيرُ الشكل 3-6 كذلك إلى أن هذا التفاعلَ يختزلُ جزيءَ $NAD^+$ إلى NADH.




**الشكل 3-6**
في التنفسِ الهوائي، يتّحدُ حمضُ البيروفيك ومرافقُ أنزيم-أ لتكوينِ الأسيتيل CoA. في حشوةِ الميتوكوندريا تنبَّهْ إلى أنه يتمُّ إنتاجُ ثاني أكسيدِ الكربون و NADH والهيدروجين $H^+$ من خلالِ هذا التفاعل.

## دورةُ كريْبس

إن دورةَ كربس **Krebs cycle** هي مسارٌ كيميائيٌّ أحيائيٌّ يقومُ بتفكيكِ الأسيتيل CoA، منتجًا ثانيَ أكسيدِ الكربون وذرّاتِ هيدروجين وجزيئاتِ ATP. جرى تعرّفُ التفاعلاتِ التي تتكونُ منها دورةُ كربس على يد هانس كربس Hans Krebs (1900-1981)، وهو عالمُ كيمياءَ أحيائيةِ ألمانيٌّ ـ بريطاني. وهناك خمسُ خطواتٍ رئيسةٍ في دورةِ كربس. تتمُّ جميعُها في الخلايا حقيقيةِ النواة، في حشوةِ الميتوكوندريون. تتبعْ هذه الخُطواتِ في الشكل 3-7.

تذكّرْ أن جزيءَ كلوكوزٍ واحدًا فقط ينتِجُ جزيئَيْ حمضِ البيروفيك عبرَ عمليةِ التحلُّلِ السكري، وهذانِ الجزيئانِ يمكنُهما بعدئذٍ تشكيلُ جزيئَين من أسيتيل CoA. وبهذا يؤدي جزيءُ كلوكوزٍ واحدٌ إلى حدوثِ دورةِ كربس مرتين، لتنتُجَ ستُّ جزيئاتٍ من NADH وجزيئا $FADH_2$، وجزيئانِ من ATP، وأربعةُ جزيئاتٍ من $CO_2$ تنتشرُ خارجَ الخلايا حيثُ يقومُ الجسمُ بالتخلصِ منها. يمكنُ استخدامُ ATP لإنتاجِ الطاقة. لاحظْ أن كلَّ جزيءٍ من الكلوكوز يُنتِجُ جزيئَيْنِ من ATP عبر دورةِ كربس، وهو عددُ الجزيئاتِ نفسُهُ في عمليةِ التحلُّلِ السكري.

تتمُّ دورةُ كربْس في حشوةِ الميتوكوندريون، وهي تتكوّنُ من خمسِ خُطواتٍ رئيسة.

الخُطوةُ الأولى : يتّحدُ الأسيتيل CoA **بحمضِ الأوكسالو الخليك Oxaloacetic acid** لإنتاجِ **حمضِ السيتريك Citric acid**.

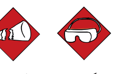
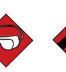
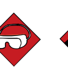
الخُطوةُ الثانية : يُطلِقُ حمضُ السيتريك جزيءَ ثاني أكسيدِ الكربون فيتشكلُ مركّبٌ خماسيُّ الكربون.

الخُطوةُ الثالثة : يُطلِقُ المركّبُ الخماسيُّ الكربون جزيءَ ثاني أكسيدِ الكربون ليكوّنَ مركّبًا رباعيَّ الكربون.

الخُطوةُ الرابعة : يتمُّ تحويلُ المركّبِ الرباعيِّ الكربون إلى مركّبٍ جديدٍ رباعيِّ الكربون.

الخُطوةُ الخامسة: تتمُّ إعادةُ تحويلِ المركّبِ الرباعيِّ الكربونِ الجديد إلى حمضِ الأوكسالو الخليك. وبالإضافةِ إلى إنتاجِ ثاني أكسيدِ الكربون تُنتِجُ كلُّ دورةٍ من دوراتِ كربس جزيئاتٍ من ATP و NADH و $FADH_2$.

إن الطاقةَ الإجماليةَ التي جرى إطلاقُها عبرَ عمليةِ التحلُّلِ السكريِّ لم يتمَّ نقلُها بعد إلى ATP. عمليةُ النقلِ هذه تتطلبُ مادتَيْ NADH و $FADH_2$ اللتينِ صُنِعتا عبرَ المساراتِ التي تعلمتَها حتى الآن. تذكرْ أن عمليةَ التحلُّلِ السكريِّ تُنتِجُ جزيئَينِ من NADH، وأن تحويلَ حمضِ البيروفيك إلى أسيتيل CoA يُنتِجُ جزيئَينِ آخرينِ من NADH، وأن إضافةَ ستةِ جزيئاتٍ من NADH ناتجةٍ من دورةِ كربس تعطي ما مجموعُهُ 10 جزيئاتِ NADH لكلِّ جزيءٍ من الكلوكوزِ الذي تمتْ أكسدتُه. تستخدمُ جزيئاتُ NADH العشَرَةُ نفسُها وجزيئا $FADH_2$ الناتجانِ من دورةِ كربس في المرحلةِ التاليةِ للتنفسِ الهوائي، والتي يتمُّ فيها نقلُ معظمِ الطاقةِ من الكلوكوز إلى ATP بصورةٍ فعلية.


### نشاطٌ عمليٌّ سريع

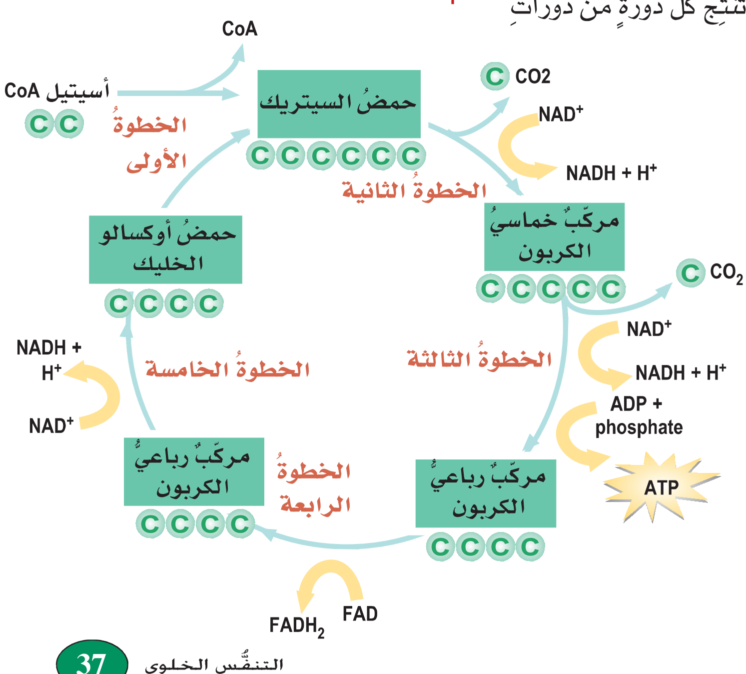
**مقارنةُ إنتاجِ ثاني أكسيدِ الكربون**

**المواد** قفّازاتٌ للاستعمالِ لمرّةٍ واحدة، معطفُ مختبر، نظاراتٌ واقية، دورقٌ سعة 250 mL، مخبارٌ مدرَّج سعة 100 mL، محلولُ فينول فثاليين، ماصة، مصاصة للشرب، ماء، منبِّه، محلولُ هيدروكسيد الصوديوم.

**الإجراء**

1. ضعِ القفازاتِ ذاتَ الاستعمالِ لمرةٍ واحدة، ومعطفَ المختبر، والنظاراتِ الواقية.
2. أضفْ 50 mL من الماءِ وأربعَ قطراتِ فينول فثاليين إلى الدورق.
3. استخدمْ مصاصةَ الشرب للنفخِ ببطءٍ في المحلولِ مدةَ دقيقةٍ واحدة. أضفْ هيدروكسيدَ الصوديوم قطرةً قطرة، وأدِرِ الدورقَ حولَ نفسِه بلطف.
4. عندما يصبحُ لونُ المحلولِ زهريًّا توقفْ عن إضافةِ القطرات. سجّلْ عددَ القطراتِ التي استخدمتَها.
5. أفرغِ الدورقَ واغسلْهُ وفقًا لتوجيهاتِ معلمِك، وكررِ الخطوةَ 2. سِرْ بنشاطٍ مدةَ دقيقتين، عاودْ تنفيذَ الخطوتينِ 3 و 4.

**التحليل** أيُّ محاولةٍ أنتجتْ معظمَ ثاني أكسيدِ الكربون؟ أيُّ محاولةٍ استهلكتْ معظمَ الطاقة؟




**الشكل 3-7**
الخطواتُ الخمس لدورةِ كربس في حشوةِ الميتوكوندريون.

# سلسلةُ نقلِ الإلكترونات

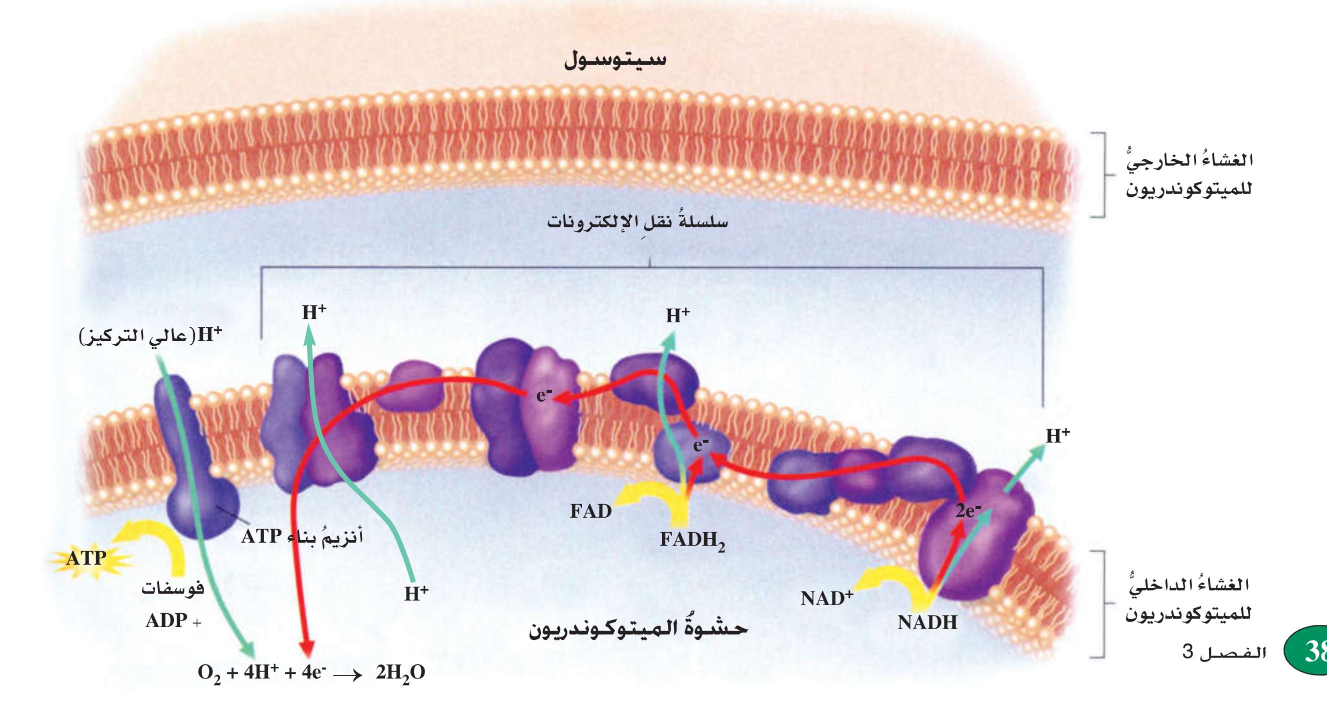
تكوِّنُ **سلسلةُ نقلِ الإلكترونات Electron transport chain** المرحلةَ الثانيةَ من التنفسِ الهوائي، ففي الخلايا حقيقيةِ النواةِ تبطِّنُ سلسلةُ نقلِ الإلكتروناتِ الغشاءَ الداخليَّ للميتوكوندريون. تذكَّرْ من الصفِّ العاشر، الفصل 3، أن الغشاءَ الداخليَّ مزودٌ بطيّات عديدةٍ وطويلةٍ تسمّى الأعراف. وفي الكائناتِ الحيةِ غيرِ حقيقيةِ النواة، تبطِّنُ سلسلةُ نقلِ الإلكتروناتِ الغشاءَ الخلوي. هذه السلسلةُ تُنتِجُ ATP عندما تُطلِقُ المادتانِ NADH و $FADH_2$ ذرّاتِ الهيدروجين، وتعيدُ إنتاجَ $NAD^+$ و **FAD**. وكي تفهمَ كيفيةَ إنتاجِ ATP يجبُ عليك أن تتابعَ ما يحدثُ لإلكتروناتِ وبروتوناتِ ذرّاتِ الهيدروجين تلك.

تتصفُ إلكتروناتُ ذرّاتِ الهيدروجين، الصادرةُ من NADH و $FADH_2$، بمستوى طاقةٍ مرتفع. وفي سلسلةِ نقلِ الإلكتروناتِ يتمُّ تمريرُ إلكتروناتِ الهيدروجين ذاتِ الطاقةِ المرتفعةِ إلى سلسلةٍ من الجزيئات، كما يظهرُ في الشكل 3-8. ولدى انتقالِ الإلكتروناتِ من جزيءٍ إلى جزيء تفقدُ بعضًا من طاقتِها، وتُستخدَمُ الطاقةُ التي تفقدُها في ضخِّ بروتوناتِ ذرّاتِ الهيدروجين من حشوةِ الميتوكوندريون إلى الجانبِ الآخرِ من الغشاءِ الداخليِّ للميتوكوندريون. ومن شأنِ عمليةِ الضخِّ هذه أن تنمِّيَ درجةَ تركيزٍ عاليةً للبروتوناتِ في الحيِّزِ الذي يقعُ بين الغشاءَين الداخليِّ والخارجيِّ للميتوكوندريون. وبمعنى آخر، يتمُّ إنتاجُ منحدرِ تركيزٍ للبروتوناتِ عبرَ الغشاءِ الداخليِّ للميتوكوندريون.

يقومُ منحدَرُ تركيزِ البروتوناتِ بتسييرِ عمليةِ بناءِ ATP من خلالِ الأسموزيةِ الكيميائية، وهي العمليةُ ذاتُها التي تنتجُ ATP في البناءِ الضوئي. وكما ترى في الشكل 3-8، تقعُ جزيئاتُ أنزيمِ بناءِ ATP في الغشاءِ الداخليِّ للميتوكوندريون. ويقومُ هذا الأنزيمُ ببناءِ ATP من ADP في أثناءِ انتقالِ البروتوناتِ في اتجاهِ أسفلِ منحدرِ تركيزِها، أي نحو داخلِ حشوةِ الميتوكوندريون.

**الشكل 3-8**

**تزوِّدُ المادتان NADH و $FADH_2$ سلسلةَ نقلِ الإلكتروناتِ بالبروتوناتِ والإلكترونات. ويتمُّ تمريرُ الإلكتروناتِ على طولِ السلسلة، من جزيءٍ إلى جزيءٍ في مجموعةٍ متتاليةٍ من تفاعلاتِ الأكسدةِ والاختزال. يتمُّ ضخُّ البروتوناتِ إلى خارجِ حشوةِ الميتوكوندريون، بينما تعودُ البروتوناتُ إلى حشوةِ الميتوكوندريون عبر أنزيمِ بناءِ ATP، وتطلقُ الطاقةَ فتسيِّرُ عمليةَ بناءِ ATP. أما المستقبِلُ الأخيرُ للإلكتروناتِ فهو الأكسجين، الذي يتلقى هو أيضًا البروتوناتِ في عمليةِ تفاعلٍ يَنتُجُ عنها الماء.**



## دورُ الأُكسجين

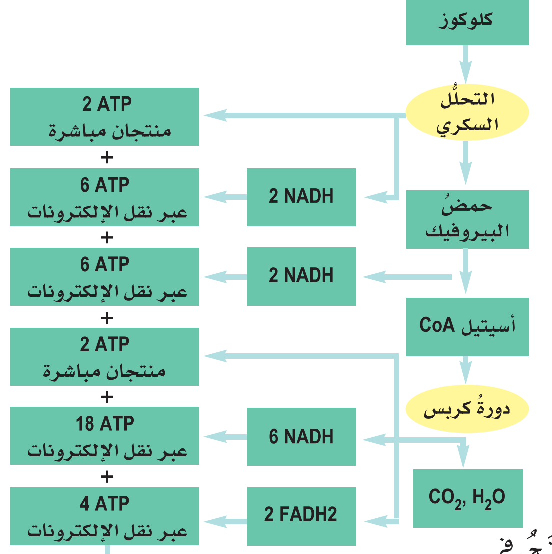
يمكنُ بناءُ ATP عن طريقِ الأسموزيةِ الكيميائيةِ، وخصوصًا في حالِ الانتقالِ المتواصلِ للإلكتروناتِ من جزيءٍ إلى جزيءٍ في سلسلةِ نقلِ الإلكترونات. ومن البديهي أن الجزيءَ الأخيرَ في سلسلةِ نقلِ الإلكترونات لا يمكنُهُ الاحتفاظُ بكلِّ الإلكتروناتِ التي يتلقاها. ولو لم يستطعْ الجزيءُ الأخيرُ التخليَ عن الإلكتروناتِ التي يستقبلُها لما استطاعت أيُّ إلكتروناتٍ أخرى دخولَ سلسلةِ نقلِ الإلكتروناتِ ولتوقفتْ عمليةُ بناءِ ATP.

هذا هو المكانُ الذي يقومُ فيهِ الأكسجينُ بأداءِ دورِهِ في التنفسِ الهوائي. يبيِّنُ الشكل 8-3 أن الأكسجينَ يعملُ كمستقبلٍ أخيرٍ للإلكترونات، عبرَ استقبالِ الإلكتروناتِ من الجزيءِ الأخيرِ في سلسلةِ نقلِ الإلكترونات، يسمحُ الأكسجين لإلكتروناتٍ إضافيةٍ بالعبورِ على طولِ السلسلة، ونتيجةً لذلكَ يمكنُ أن تتواصلَ عمليةُ بناءِ ATP عن طريقِ الأسموزيةِ الكيميائية. كذلك يستقبلُ الأكسجينُ البروتوناتِ التي كانت في السابقِ جزءًا من ذرّاتِ الهيدروجين، والتي كانت NADH و $FADH_2$ تمدُّهُ بها. ويقومُ الأكسجينُ، من خلالِ اندماجِهِ بالإلكتروناتِ والبروتوناتِ معًا، بتكوينِ الماءِ على النحوِ المبيّنِ في المعادلةِ التالية:

$$O_2 + 4e^- + 4H^+ \rightarrow 2H_2O$$

## الطاقةُ الناتجة

كم جزيئًا من ATP يتمُّ بناؤهُ عبر التنفسِ الهوائي؟ عدْ إلى الشكل 9-3 وأنت تحسُبُ الكميةُ الإجمالية. تذكّرْ أن عمليةَ التحلّلِ السكريِّ ودورةَ كربس تُنتِجُ كلٌّ منهُما جزيئين من ATP لكلِّ جزيءِ كلوكوز تتمُّ أكسدتُه. كلُّ جزيءٍ من NADH الذي يمدُّ سلسلةَ نقلِ الإلكترونات يستطيعُ إنتاجَ ثلاثةِ جزيئاتٍ من ATP، وكلُّ جزيءٍ من $FADH_2$ يستطيعُ إنتاجَ جزيئين من ATP. بذلك، يمكنُ للجزيئاتِ العشرةِ من NADH ولجزيئَيْ $FADH_2$ التي يتمُّ بناؤها جميعًا عبرَ عمليةِ التنفسِ الهوائيِّ أن تُنتِجَ ما يصلُ إلى 34 جزيئًا من ATP عبرَ سلسلةِ نقلِ الإلكترونات. بإضافةِ الجزيئاتِ الأربعةِ من ATP الناتجةِ من عمليةِ التحلّلِ السكريِّ ومن دورةِ كربس تصبحُ النتيجةُ النهائيةُ 38 جزيئًا من ATP لكلِّ جزيءٍ من الكلوكوز.




**الشكل 9-3**
تتبَّعْ كلَّ مسارٍ لتعرفَ كيف تمكّنَ جزيءُ جلوكوز واحد من إنتاجِ ما يصلُ إلى 38 جزيئًا من ATP في عمليةِ التنفسِ الهوائي.

إن العددَ الفعليَّ لجزيئاتِ ATP الذي يَنتُجُ عن التنفسِ الهوائيِّ يختلفُ من خليةٍ إلى خلية. في معظمِ الخلايا حقيقيةِ النواة، إن NADH الذي يُنتَجُ في السيتوسول في أثناءِ عمليةِ التحلُّلِ السكريِّ لا يمكنُهُ الانتشارُ عبرَ الغشاءِ الداخليِّ للميتوكوندريون. وبدلاً من ذلك يجبُ نقلُهُ بصورةٍ نشطةٍ إلى حشوةِ الميتوكوندريون. إن النقلَ النشطَ لمادةِ NADH يستهلكُ ATP. وبنتيجةِ ذلك، تُنتِجُ معظمُ الخلايا حقيقيةُ النواةِ حوالي 36 جزيئًا من ATP فقط لكلِّ جزيءٍ من الكلوكوز.

ما مقدارُ كفاءةِ التنفسِ الهوائيِّ في تأمينِ الطاقةِ للأنشطةِ الخلويةِ داخلَ الخلية؟ خذ في الاعتبارِ تلك الكفاءةَ عندما تقومُ خليةٌ ما بإنتاجِ 38 جزيئًا من ATP:

$$\text{كفاءةُ التنفُّسِ الهوائي} = \frac{\text{الطاقةُ المطلوبةُ لصنعِ ATP}}{\text{الطاقةُ الناتجةُ من أكسدةِ الكلوكوز}}$$

$$= \frac{38 \times 12\ \text{كيلوسعر}}{686\ \text{كيلوسعر}} \times 100\% = 66\%$$

معنى ذلك أن التنفسَ الهوائيَّ أكثرُ كفاءةً من التحلُّلِ السكريِّ بمفردِهِ بـ 20 مرةً تقريبًا. وفي الحقيقة، إن كفاءةَ التنفسِ الهوائيِّ قويةٌ للغايةِ بالمقارنةِ مع الآلاتِ التي صمّمَها وصنعَها الإنسان. محركُ السيارةِ، على سبيل المثال، يتصفُ بكفاءةٍ تبلغُ ما يقاربُ 25 بالمئة فقط من الطاقةِ المدخرةِ في ما يستهلكُهُ من وقودِ البنزين لتأمينِ سيرِ السيارة، حيثُ يتمُّ فَقْدُ معظمِ الطاقةِ المتبقيةِ الصادرةِ عن البنزينِ المستهلَكِ على صورةِ طاقةٍ حرارية.

## العلاقةُ بين البناءِ الضوئيِّ والتنفسِ الخلوي

تُلخَّصُ الأكسدةُ الكاملةُ للجلوكوز، في التنفسِ الهوائي، بالمعادلةِ التالية:

$$C_6H_{12}O_6 + 6O_2 \rightarrow 6CO_2 + 6H_2O + \text{طاقة}$$

تذكَّرِ المعادلاتِ العائدةَ للبناءِ الضوئيِّ التي تعلَّمتَها في الفصل 2. انتبهْ إلى أن المعادلةَ الواردةَ هنا هي عكسُ المعادلةِ الإجماليةِ للبناءِ الضوئي. معنى ذلك أن الموادَّ التي يُنتجُها البناءُ الضوئيُّ هي موادُّ متفاعلةٌ في التنفسِ الهوائي، وأن الموادَّ التي يُنتجُها التنفسُ الهوائيُّ هي موادُّ متفاعلةٌ في البناءُ الضوئي. إلا أنه من المهمِّ أن نتذكَّرَ أن التنفسَ الهوائيَّ لا يمثِّلُ البناءَ الضوئيَّ معكوسًا. وعلى نحوِ ما رأيتَ، تتضمنُ هاتانِ العمليتانِ مساراتٍ كيميائيةً أحيائيةً مختلفة، كما أنهما تتمّانِ في مواقعَ مختلفةٍ داخلَ الخلايا.

يؤمِّنُ التنفسُ الخلوي ATP الذي تحتاجُ إليه جميعُ الخلايا لدعمِ أنشطتِها الحيوية. إلا أن تزويدَ الخلايا بـ ATP لا يمثِّلُ الوظيفةَ المهمةَ الوحيدةَ للتنفسِ الخلوي. فالخلايا تحتاجُ إلى مركّباتٍ عضويةٍ خاصةٍ تستطيعُ بها أن تصنعَ جزيئاتٍ عملاقةً يتكونُ منها تركيبُها الذاتي. بعضُ تلك المركباتِ الخاصةِ قد لا يكونُ موجودًا في الغذاءِ الذي تستهلكُهُ الكائناتُ الحيةُ غيرُ ذاتيةِ التغذية. إلا أن الجزيئاتِ التي تتكونُ في الخطواتِ المختلفةِ من التحلُّلِ السكريِّ ودورةِ كربس تستخدِمُها الخلايا غالبًا في بناءِ المركّباتِ غيرِ الموجودةِ في الأغذية. إذن، تكونُ الوظيفةُ المهمةُ الأخرى للتنفسِ الخلويِّ توفيرَ الهياكلِ الكربونيةِ التي يمكنُ بناؤها كجزيئاتٍ عملاقةٍ تحتاجُ إليها الخلايا.

### مراجعةُ القسم 2-3

1. ما المركبُ رباعيُّ الكربونِ الذي يعادُ إنتاجُهُ في نهايةِ دورةِ كربس؟ بأيِّ مركّبٍ ثنائيِّ الكربونِ يتَّحدُ هذا المركّبُ في بدايةِ دورةِ كربس؟
2. ما وجهُ الشبه بين بناءِ ATP في سلسلةِ نقلِ الإلكتروناتِ داخلَ الميتوكوندريا وبناءِ ATP في البلاستيداتِ الخضراء؟
3. ما الدورُ الذي يقومُ به الأكسجينُ في التنفسِ الهوائي؟ ما الجزيءُ الذي يشكلُ الأكسجينُ جزءًا منه نتيجةَ عمليةِ التنفسِ الهوائي؟
4. في أيِّ جزءٍ من الميتوكوندريون تتمُّ دورةُ كربس؟ في أيِّ جزءٍ من الميتوكوندريون توجدُ سلسلةُ نقلِ الإلكترونات؟
5. احسُبْ كفاءةَ التنفسِ الهوائيِّ إذا أنتجتْ خليةٌ من كلِّ جزيءِ كلوكوز 32 جزيئًا من ATP .
6. **تفكيرٌ ناقد** في بعضِ الأحيان، تتسربُ البروتوناتُ من الخليةِ أو تُستخدَمُ لأغراضٍ مختلفةٍ علاوةً على ما تنتجُهُ من ATP. كيف يمكنُ لهذا أن يؤثرَ في إنتاجِ ATP في التنفسِ الهوائي؟

# مراجعةُ الفصل 3

## ملخص / مفردات

**1-3** ■ التنفسُ الخَلويُّ هو العمليةُ التي تفكّكُ بها الخلايا المركّباتِ العضويةَ لإطلاقِ الطاقةِ وصنعِ ATP. ويشتملُ على مساراتٍ لاهوائيةٍ تعملُ بغيابِ الأكسجين، وعلى تنفسٍ هوائيٍّ يتمُّ بوجودِ الأكسجين.

■ يبدأُ التنفسُ الخلويُّ بعمليةِ التحلُّلِ السكريِّ التي تتمُّ في سيتوسولِ الخلايا. خلال عمليةِ التحلُّلِ السكري، يتأكسدُ جزيءٌ واحدٌ من الكلوكوز لتكوين جزيئَين من حمضِ البيروفيك، ويؤدي التحلُّلُ السكريُّ إلى إنتاجٍ صافٍ لجزيئَين من ATP وجزيئتَان من NADH.

■ التخمرُ مجموعةٌ من المساراتِ اللاهوائيةِ التي يتمُّ فيها تحويلُ حمضِ البيروفيك إلى جزيئاتٍ عضويةٍ أخرى في السيتوسول. لا يُنتِجَ التخمرُ ATP، إلا أنه يعيدُ إنتاجَ $NAD^+$، الذي يساعدُ على استمرارِ بقاءِ عمليةِ التحلُّلِ السكريِّ مستمرَّة.

■ في تخمرِ الحمضِ اللبنيِّ، يحوِّل أحدُ الأنزيماتِ حمضَ البيروفيك إلى حمضٍ لَبَنيّ.

■ في التخمّرِ الكحوليّ، تحوِّلُ أنزيماتٌ أخرى حمضَ البيروفيك إلى كحولٍ إيثيليٍّ وثاني أكسيدِ الكربون.

■ من خلالِ عمليةِ التحلُّلِ السكريِّ يتمُّ نقلُ حواليَ 3.5 بالمئة فقط من الطاقةِ التي يوفرُها التحلُّلُ السكري إلى ATP.

### مفردات

- التحلُّلُ السكري (31) Glycolysis
- التخمرُ (33) Fermentation
- تخمُّرُ الحمضِ اللبَني (33) Lactic acid fermentation
- التخمُّرُ الكحولي (34) Alcoholic fermentation
- التنفُّسُ الخلوي (31) Cellular respiration
- حمضُ البيروفيك (32) Pyruvic acid
- الكيلوسعر (34) Kilocalorie
- المسارُ اللاهوائي (31) Anaerobic pathway
- (32) $NAD^+$

**2-3** ■ يتحولُ حمضُ البيروفيك إلى أسيتيل CoA بوجودِ الأكسجين. وفي الخلايا حقيقيةِ النواةِ يحصُلُ هذا التفاعلُ داخلَ حُشوةِ الميتوكوندريون.

■ يدخلُ الأسيتيل مرافقُ أنزيم-أ دورةَ كربس، وهي مسارٌ كيميائيٌّ أحيائيٌّ يوجدُ هو أيضًا داخل حشوةِ الميتوكوندريون. وكلُّ دورةٍ من دوراتِ كربس تُنتِجُ ثلاثةَ جزيئاتٍ من NADH وجزيئًا واحدًا من $FADH_2$، وجزيئًا واحدًا من ATP، وجزيئَين من ثاني أكسيدِ الكربون.

■ تعطي جزيئاتُ NADH و $FADH_2$ الإلكتروناتِ لسلسةِ نقلِ الإلكتروناتِ التي تبطِّنُ الغشاءَ الداخليَّ للميتوكوندريون. تمرُّ الإلكتروناتُ من جزيءٍ إلى جزيءٍ آخرَ في سلسلةِ نقلِ الإلكترونات، عبر تفاعلاتٍ متتاليةٍ من الأكسدةِ والاختزال.

■ والإلكترونات تمرُّ على طولِ سلسلةِ نقلِ الإلكترونات، ويتمُّ ضخُّ البروتوناتِ التي يفقدُها كلٌّ من NADH و $FADH_2$ إلى الحيِّزِ الموجودِ بين الغشاءَيْنِ الداخليِّ والخارجيِّ للميتوكوندريون. تُنتِجُ عمليةُ الضخِ هذه منحدَرَ تركيزٍ للبروتوناتِ عبرَ الغشاءِ الداخليِّ للميتوكوندريون. فبينما تنتقلُ البروتوناتُ في اتجاهِ أسفلَ منحدرِ تركيزِها وتعودُ إلى حشوةِ الميتوكوندريون، يستغلُّ أنزيمُ بناءِ ATP الطاقةَ الصادرةَ عن حركةِ الانتقالِ تلك لبناءِ ATP.

■ خلالَ عمليةِ التنفسِ الهوائيِّ، يستقبلُ الأكسجينُ البروتوناتِ والإلكتروناتِ معًا من سلسلةِ نقلِ الإلكترونات، ونتيجةً لذلك يتحوَّلُ الأكسجينُ إلى ماء.

■ يمكنُ للتنفسِ الهوائيِّ أن يُنتِجَ ما يصلُ إلى 38 جزيئًا من ATP من خلالِ أكسدةِ جزيءٍ واحدٍ من الكلوكوز. ومعنى هذا أن حواليَّ 66 في المئة من الكلوكوز قابلٌ للتحويلِ إلى ATP. إلا أن معظمَ الخلايا حقيقيةِ النواةِ ينتجُ فقط ما يقاربُ 36 جزيئًا من ATP انطلاقًا من جزيءٍ واحدٍ من الكلوكوز.

■ يؤمِّنُ التنفسُ الخلويُّ، إضافةً إلى نقلِ الطاقةِ إلى ATP، الهياكلَ الكربونيةَ التي يمكنُ بناؤها كجزيئاتٍ عملاقةٍ من قبلِ الخلايا.

### مفردات

- الأسيتيل مرافق أنزيم-أ CoA (36) Acetyl coenzyme A
- التنفُّسُ الهوائي (36) Aerobic respiration
- حشوةُ الميتوكوندريون (36) Mitochondrial matrix
- حمضُ الأوكسالو الخليك (37) Oxaloacetic acid
- حمضُ السيتريك (37) Citric acid
- دورةُ كربس (37) Krebs cycle
- سلسلةُ نقلِ الإلكترونات (38) Electron transport chain
- (38) FAD

# مراجعة

## مفردات

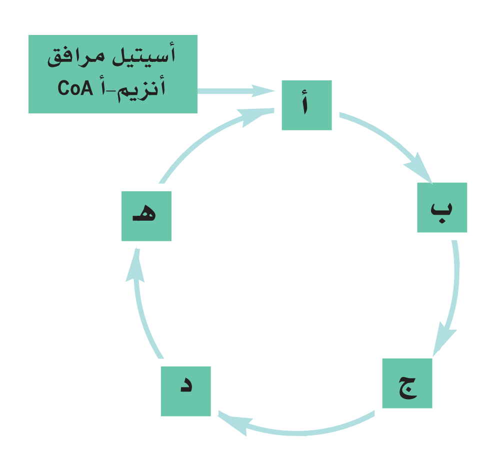
1. ما الجزيءُ الذي يُصنَعُ خلال عملية التحلل السكري، ويُستخدَمُ في الخطواتِ الأخيرةِ من عمليةِ التخمّر؟
2. ما الجزيءُ الذي يُصنَعُ خلال الخطواتِ الأخيرةِ من عمليةِ التخمرِ ويستخدَمُ في التحللِ السكري؟
3. ما الجزيئاتُ التي تبنيها دورةُ كربس وتستخدِمُها سلسلةُ نقلِ الإلكترونات؟
4. ما الجزيءُ الذي يحددُ ما إذا كانَ حمضُ البيروفيك سيخضعُ للتخمرِ أو سيتحوَّلُ ليدخلَ في دورةِ كربس؟
5. ما الذي يحددُ ما إذا كان حمضُ البيروفيك سيخضعُ لتخمرِ الحمضِ اللبَنِيِّ أو لتخمُّرٍ كحولي؟

## اختيارٌ من متعدِّد

6. قبل أن تنطلقَ دورةُ كربس في عملِها، يجبُ تحويلُ حمضِ البيروفيك إلى (أ) حمضِ السيتريك (ب) كلوكوز (ج) أسيتيل مرافق أنزيم-أ CoA (د) NADH.
7. العددُ الصافي لجزيئاتِ ATP التي تُنتَجُ في أثناءِ التحلُّلِ السكري (أ) 2 (ب) 6 (ج) 32 (د) 38.
8. في تخمرِ الحمضِ اللبَنيِّ (أ) يُعادُ إنتاجُ $NAD^+$ ليُستخدَمَ في التحللِ السكري (ب) يتحوَّلُ الحمضُ اللبَنيُّ إلى حمضِ البيروفيك (ج) يُستهلَكُ الأكسجين (د) تمرُّ الإلكترونات عبر سلسلةِ نقلِ الإلكترونات.
9. أيٌّ مما يلي ليسَ مادةً تُنتِجُها دورةُ كربس؟ (أ) ATP (ب) الكحولُ الإيثيلي (ج) ثاني أكسيدِ الكربون (د) $FADH_2$.
10. التنفسُ الخلويُّ والبناءُ الضوئيُّ متشابهانِ لأنهما (أ) ينتجانِ ATP (ب) يتضمنانِ عمليةَ الأسموزيةِ الكيميائية (ج) يصنعانِ PGAL (د) يتصفانِ بذلك كلِّه.
11. يتمُّ بناءُ ATP في سلسلةِ نقلِ الإلكتروناتِ حيثُ ينتقلُ ما يلي عبر الغشاءِ الداخليِّ للميتوكوندريون (أ) NADH (ب) البروتونات (ج) حمضُ السيتريك (د) الأكسجين.
12. يتحولُ الأكسجينُ الذي استُخدِمَ في التنفسِ الهوائي، عبر استقبالِهِ الإلكتروناتِ والبروتوناتِ إلى (أ) ثاني أكسيدِ الكربون (ب) ماء (ج) $C_6H_{12}O_6$ (د) ATP.
13. تتمُّ دورةُ كربس في (أ) السيتوسول (ب) الغشاءِ الخارجيِّ للميتوكوندريون (ج) حشوةِ الميتوكوندريون (د) حيِّزٍ يقعُ بين الغشاءِ الداخليِّ والغشاءِ الخارجيِّ للميتوكوندريون.
14. خلال كلِّ دورةٍ من دوراتِ كربس (أ) يُنتَجُ جزيئان من ثاني أكسيدِ الكربون (ب) يتمُّ استهلاكُ جزيئينِ من ATP (ج) يتّحدُ حمضُ البيروفيك مع حمضِ الأوكسالو أسيتيك (د) يتَّحدُ الكلوكوز مع جزيءٍ رباعيِّ الكربون.
15. معظمُ ATP الذي جرى بناؤهُ خلال التنفسِ الهوائيِّ بُنِيَ (أ) خلالَ التحلُّلِ السكري (ب) خلالَ عمليةِ التخمُّرِ (ج) في السيتوسول (د) خلالَ العمليةِ الأسموزيةِ الكيميائية.

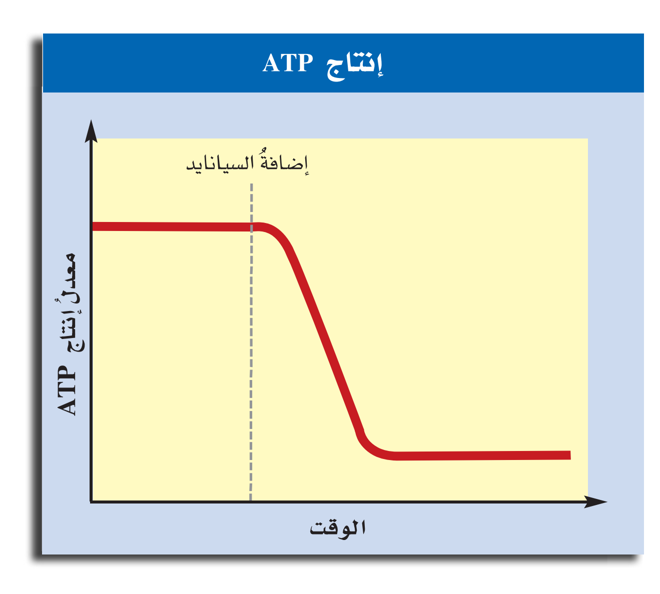
## إجابةٌ قصيرة

16. لخِّصِ الأحداثَ التي تحصُلُ إنطلاقًا من نهايةِ التحلُّلِ السكري وعبر التفاعلِ الأولِ لدورةِ كربس.
17. لماذا معظمُ الخلايا حقيقيةِ النواةِ تنتجُ أقل من 38 جزيئًا من ATP مقابلَ كلِّ جزيءِ كلوكوزٍ يتأكسدُ في أثناءِ التنفسِ الهوائي؟
18. فيمَ تختلفُ المساراتُ اللاهوائيةُ عن مساراتِ التنفسِ الهوائي في المواقعِ التي تتمّانِ فيها ضمنَ الخلايا حقيقيةِ النواة؟
19. ما الذي يسببُ تعبَ العضلات، وفي بعضِ الأحيانِ التشنّجاتِ عند القيامِ بتمارين قاسيةٍ جدًّا؟
20. بيِّنْ كيفَ يعتمدُ التنفسُ الهوائي على البناءِ الضوئي؟
21. ما دورُ الأسموزيةِ الكيميائيةِ في التنفسِ الهوائي؟
22. ما الدورُ الذي يقومُ به الأكسجينُ في التنفسِ الهوائي؟
23. عدْ إلى الرسمِ البيانيِّ التالي لدورةِ كربس. واذكرْ عددَ ذراتِ الكربونِ في كلٍّ من المركّباتِ التي تمثلُها الأحرف من أ إلى هـ.



## تفكيرٌ ناقد

1. إن الأنزيمَ الذي يحوِّلُ حمضَ البيروفيك إلى أسيتيل مرافق أنزيم-أ CoA يتطلبُ الفيتامين $B_1$، أي الثيامين. ولا يمكنُ لجسمِ الإنسانِ إنتاجُ الثيامين، كما لا يمكنُهُ إنتاجُ الكثيرِ من الفيتامينات. علامَ يدُلُّ ذلك في ما يخصُّ المتطلباتِ الغذائيةِ للإنسان؟
2. كيف يمكنُ لطيّاتِ الغشاءِ الداخليِّ للميتوكوندريون أن تفيدَ التنفسَ الهوائيَّ؟
3. يمكنُ لفطرِ الخميرةِ أن يُنتجَ ATP من خلالِ التخمرِ أو التنفسِ الهوائي، وذلك تبعًا لوجودِ الأكسجين أو عدمِه. إذا كان الأكسجينُ متوفرًا، تستهلكُ خلايا فطرِ الخميرةِ الجلوكوز بطريقةٍ أبطأ بكثيرٍ مما لو كان الأكسجين مفقودًا. كيف تفسِّرُ هذه الظاهرة؟
4. يمكنُ لشخصٍ ما أن يتنفسَ بطريقةٍ أكثرَ عمقًا وأسرع، لبعضِ الوقت، بعد فترةٍ من التمرينِ القاسي جدًّا. وكلما كان التمرينُ أشدَّ قسوةً وأطول، امتدَّ التنفسُ العميقُ واستمر مدةً أطولَ بعد التوقفِ عن التمرينِ الرياضي. من خلالِ فهمِك للتنفسِ الخلوي، وضِّحِ السببَ الذي يجعلُ التمرينَ القاسيَ يحفِّزُ وينشِّطُ التنفسَ العميقَ ليستمرَّ إلى ما بعدِ الانتهاءِ من التمرينِ الرياضي.
5. يلزمُ بعضَ الخلايا حقيقيةِ النواةِ استخدامُ ATP لنقلِ NADH إلى داخلِ حشوةِ الميتوكوندريون. استنادًا إلى هذه المعلومة، أتتوقعُ أن يكونَ التنفسُ الهوائيُّ أكثرَ كفاءةً أم أقلَّ كفاءة، في الخلايا بدائيةِ النواة، مما هو عليه في الخلايا حقيقيةِ النواة؟ وضِّحْ إجابتك.
6. الرسمُ البيانيُّ التالي يبيِّنُ معدلَ ما أنتَجَهُ زرعٌ من خلايا فطرِ الخميرةِ من ATP. في وقتٍ محدَّدٍ عبرَ الخطِّ المتقطِّع أضيفتْ مادةُ السيانايد إلى الزرع. السيانايد يوقفُ انسيابَ الإلكتروناتِ في اتجاهِ الأكسجين إنطلاقًا من سلسلةِ نقلِ الإلكتروناتِ في الميتوكوندريا. وضِّحْ سببَ تأثيرِ السيانايد في إنتاجِ ATP، وفقًا لما يشيرُ إليه الرسمُ البياني.




## توسيعُ آفاقِ التفكير

1. رأينا في السابقِ أن التنفسَ الهوائيَّ أكثرُ كفاءةً في إمدادِ الخلايا بـ ATP من التحللِ السكريِّ بمفردِه. ضعْ فرضيةً توضحُ بها السببَ في عدمِ انقراضِ الكائناتِ الحيةِ اللاهوائية، وتوضحُ سببَ استمرارِ ازدهارِها في العديدِ من المناطقِ عبرَ العالم. عدْ إلى المراجعِ وإلى الإنترنت لتحديدِ موقعِ معلوماتٍ يتناولُ نوعَ كائنٍ حيٍّ واحدٍ لاهوائيّ، ويؤيدُ الفرضيةَ التي تبنَّيتَها.
2. جِدْ وصفةً لصنعِ الخبزِ المنتفخِ ووصفةً لصنعِ خبزٍ غيرِ منتفخ. ما المكوِّنُ الموجودُ في وصفةِ صنعِ الخبزِ المنتفخِ والمفقودُ في وصفةِ صنعِ الخبزِ غيرِ المنتفخ؟ وضِّحْ سببَ غيابِ هذا المكوِّنِ عن الوصفةِ الأخيرة.

# الوَحْدَة 2

**الفصول**








المشرومُ، وهي أفرادُ مملكةِ الفطريات، مهمةٌ لكونِها من الكائناتِ المحلِّلةِ الموجودةِ في الطبيعة.



هذه البكتيريا العصويةُ الشكلِ هي أفرادٌ في مملكةِ البكتيريا الحقيقية، ومن نوع *E. coli* .

الدياتومات، هي أفرادٌ في مملكةِ الطلائعيات، وهي كائناتٌ أحاديةُ الخليةِ ذاتيةِ التغذيةِ الضوئية، وتعيشُ في المحيطاتِ والبحيرات.

تحتوي أطباقُ بتري هذهِ على مزرعةِ بكتيريا. غالبًا ما يَزرَعُ العلماءُ البكتيريا في المختبرِ بهدفِ دراستِها.

# الفصـــلُ 4

# علمُ التَّصنيف



البنغول Manis temmincki، حيوانٌ من نوع آكل النملِ لهُ حراشف. يوجدُ في إفريقيةَ الشرقيةِ والجنوبية. يتنقلُ البنغولُ ببطء، ويلتفُّ على ذاتِه على شكلِ كرة عندما يتهددُهُ أيُّ خطر، كما يظهرُ لك في الصورة.

**المفهومُ الرئيس: الاعتمادُ المتبادلُ بينَ الكائناتِ الحية.**

وأنتَ تقرأُ، لاحظْ أن تصنيفَ نوعِ الكائنِ الحي يعكسُ علاقاتِهِ بالعديدِ من الكائناتِ الحيةِ ذاتِ الصفاتِ المشتركة.

القسم

1-4

## مؤشرات الأداء

▲ يوضحُ نظامَ تصنيفِ أرسطو.

● يوضحُ نظامَ تصنيفِ لينيوس.

■ يحدِّدُ المعيارَ الرئيسَ الواجبَ استخدامُهُ في تصنيفِ الكائناتِ الحية.

◆ يَذْكرُ مستوياتِ التصنيفِ في نظامِ لينيوس، ابتداءًا بالأعمِّ وصولاً إلى الأخصّ.

▲ يحدِّدُ المعيارَ الأوليَّ الذي يأخذُهُ في الاعتبارِ علماءُ التصنيفِ، عندما يصنفونَ كائنًا حيًّا محددًا.

# تاريخُ علمِ التَّصنيف

يتمُّ، كلَّ عامٍ اكتشافُ الآلافِ من أنواعِ الكائناتِ الحية. ويستخدمُ علماءُ الأحياءِ خصائصَ كلِّ نوعٍ مكتَشَفٍ حديثًا لتصنيفِهِ ضمنَ الكائناتِ الحيةِ التي تتصفُ بخصائصَ مماثلة. إن الطرائقَ التي تُعتَمَدُ في تصنيفِ الكائناتِ الحيةِ إلى مجموعاتٍ تتغيرُ باستمرار.

## نظامُ التَّصنيفِ القديم

يُشكِّلُ **علمُ التصنيفِ Taxonomy** فرعًا من علمِ الأحياءِ يسمِّي الكائناتِ الحيةَ ويرتبُها في مجموعاتٍ وفقًا لخصائصِها، وقدْ جرى التصنيفُ الأولُ للكائناتِ الحيةِ منذ ما يزيدُ على 2000 سنة، وكانَ على يدِ الفيلسوفِ اليونانيِّ أرسطو، حيثُ صنَّفَ الكائناتِ الحيةَ إلى نباتاتٍ وحيوانات. وقسَّمَ الحيواناتِ إلى ثلاثِ مجموعات، مجموعةٍ تقطنُ اليابسة، ومجموعةٍ تقطنُ المياه، ومجموعةٍ تقطنُ الجوّ. وقسَّمَ النباتات استنادًا إلى فوارقَ في السوق إلى ثلاثِ مجموعاتٍ هي الأشجارُ والشجيراتُ والأعشاب.

ومع تطورِ العلمِ الحديث، خلالَ القرنينِ الخامسَ عشرَ والسادسَ عشر، اكتُشِفَتْ كائناتٌ حيةٌ عديدةٌ لم تكنْ مكتشفة. فتبيّنَ لعلماءِ الأحياءِ أن المجموعاتِ التي حدّدَها أرسطو لم تكنْ ملائمة. ووجدوا كذلكَ أن استخدامَ اسمٍ شائع، كشجرِ التنوب Fir tree أو أبو الحِنّا Robin لكائنٍ حي، يتسببُ في مشكلات، لأن الأسماءَ الشائعةَ تختلفُ من مكانٍ الى آخر، تمامًا كما هي الحالُ اليوم. بالإضافةِ إلى ذلك، يمكنُ للأسماءِ الشائعةِ ألاّ تعطيَ وصفًا صائبًا لنوعِ الكائنِ الحي. فعلى سبيلِ المثال، السمكُ الهُلامي، أي قِنديلُ البحر Jellyfish، ليسَ من الأسماك. فابتكرَ بعضُ العلماءِ الأوائلِ أسماءً علميةً كانت بمثابةِ توصيفاتٍ طويلةٍ في اللغة اللاتينية، إلاّ أنها كانت أسماءً يصعبُ تذكرُ مدلولاتِها ولم تكنْ توحي بأيِّ شيءٍ يدلُّ على ارتباطِ الكائناتِ الحيةِ بعضُها ببعض.

## نظامُ لينيوس

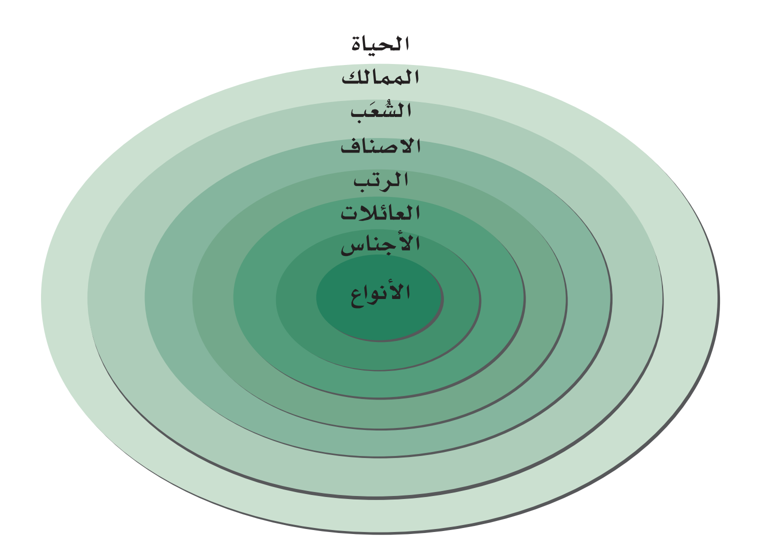
استجابةً للحاجةِ إلى التنظيمِ ابتكرَ العالِمُ السويديُّ الجنسيةِ كارولوس لينيوس Carolus Linnaeus (1778-1707) نظامًا لوضعِ الكائناتِ الحيةِ في مجموعاتٍ ذاتِ ترتيبٍ تسلسلي. واعتمدَ في الجزءِ الأكبرِ من هذا النظامِ على الشكلِ الخارجيِّ للكائنِ الحيِّ، لتحديدِ المجموعةِ التي ينتمي اليها.

### جذرُ الكلمةِ وأصلُها

**علمُ الشكْلِ الخارجي**

**morphology**

مِنَ اليونانية morphe ومعناها «الشكل» و logos ومعناها «العلم»




**الشكل 1-4**
مخططٌ لمجموعاتِ لينيوس المرتبةِ بشكلٍ تسلسلي. سمحتْ مستوياتُ التنظيم السبعةُ، وكلٌّ منها أكثرُ تحديدًا من سابقِهِ بتحقيقِ الربطِ بينَ كائناتٍ حيّةٍ وكائناتٍ حيةٍ مشابهةٍ لها.

## مستوياتُ التصنيف

ابتكرَ لينيوس ترتيبًا تسلسليًّا يجمعُ سبعةَ مستوياتٍ مختلفةً من التنظيم، على النحوِ المبيّن في الشكل 1-4. وتسمّى الفئةُ الأكبر **المملكةَ Kingdom**. ويوجدُ منها مملكتان، هما مملكةُ الحيوانِ ومملكةُ النبات، وتتطابقانِ مع المجموعاتِ الرئيسةِ لدى أرسطو. وتسمّى كلُّ مجموعةٍ فرعيةٍ ضمنَ مملكةِ الحيوانِ **الشعبةَ Phylum**، كما تُسمّى **القِسمَ Division** ضمن مملكةِ النبات. وضمنَ الشُّعبةِ أو القِسمِ تُسمّى كلُّ مجموعةٍ فرعيةٍ **الصنف Class**. وضمنَ الصنفِ كلُّ مجموعةٍ فرعيةٍ تسمّى **رتبةً Order**. وهناك مجموعاتٌ أصغرُ واحدتُها تُسمّى **العائلةَ Family**، ويليها **الجنس Genus**. أما أصغرُ مجموعةٍ على الإطلاق، فهي التي تضمُّ مجموعةَ الأفرادِ المتشابهةِ والتي يمكنُها التزاوجُ فيما بينها، وتسمّى **النوعَ Species**. ويقدِّمُ الجدولُ 1-4 مثلاً ضمنَ نظامِ التصنيفِ هذا عن كيفيةِ تواجدِ نوعينِ متشابهينِ من الكائناتِ ونوعٍ ثالثٍ مختلفٍ عنهما تمامًا.

**الجدولُ 1-4** التـرتيبُ التسلسليُّ في تصنيفِ كائناتٍ حية

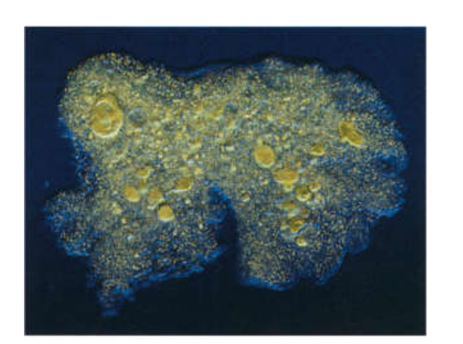
| الاسمُ الشائع | القطُّ الأليف Cat | النمر Tiger | الذرةُ الشامية Corn |
|---|---|---|---|
| **المملكة** | الحيوان | الحيوان | النباتات |
| **الشعبة / القسم** | الفقاريات | الفقاريات | النباتات البذرية |
| **الصنف** | الثدييات | الثدييات | ذات الفلقة الواحدة |
| **الرتبة** | آكلة اللحوم | آكلة اللحوم | النجيليات |
| **العائلة** | القطية | القطية | النجيل |
| **الجنس** | القط *Felis* | القط *Felis* | الذرة |
| **النوع** | القط الأليف *Felis domesticus* | النمر *Felis tigarus* | الذرة *Zea maize* |

## التسميةُ الثنائية

يتألفُ **الاسمُ العلميُّ** للكائنِ الحيِّ **Scientific name**، من كلمتين. الكلمةُ الأولى تُشيرُ إلى الجنس Genus name، والكلمةُ الثانيةُ تشيرُ إلى النوع species. بذلك يُعرفُ الإنسانُ باسمِ الإنسانِ العاقل *Homo sapiens* ، فالكلمةُ الأولى تحدِّدُ جنسَنا والثانيةُ تحدِّدُ نوعَنا وتصفُهُ بـ «العاقل». هذا النظامُ من التسميةِ يُعرفُ بنظامِ **التسميةِ الثنائية Binomial nomenclature**. يبدأُ اسمُ الجنسِ بحرفٍ كبير، ويوضعُ خطٌّ تحتَ الاسمين معًا أو يكتبانِ بخطٍّ مائل. قامَ لينيوس بتصنيفِ الآلافِ من الكائناتِ الحيّة، ولا يزالُ نظامُ لينيوس للتصنيفِ وللتسميةِ الثنائيةِ مستخدمًا حاليًّا. وبما أن الاسمَ العلميَّ يعتمدُ على اللغةِ اللاتينية، فالتعبيرُ بها شائعٌ في مختلفِ اللغات، مما يمكِّنُ العلماءَ في أنحاءِ العالمِ من تحديدِ وتعريفِ الكائناتِ الحيةِ بنفسِ الاسم.

يمكنُ للاسمِ العلميِّ أن يكونَ وصفًا للكائنِ الحيِّ، كما في الأميبا *Chaos chaos*، المبيَّنةِ في الشكل 4-2. فاسمُها يُشيرُ إلى تبدُّلِ شكلِها باستمرار. ويمكنُ أن يُختارَ الاسمُ العلميُّ لتكريمِ شخصٍ معيّن، كما يمكنُ أن يوحيَ بالحيِّزِ الجغرافيِّ للكائنِ الحيّ. فاسمُ نوعِ الأزهارِ *Linnae borealis* يشيرُ إلى المناطقِ الشماليةِ التي تنمو فيها هذه الأزهار ، وكانَ مميزًا بمنطقتِهِ عندَ لينيوس (*Borealis* تعني «شمالي»).

كانَ اختيارُ لينيوس لمستوياتِ التصنيفِ السبعةِ عشوائيًّا، فاضطُرَّ علماءُ التصنيفِ إلى اعتمادِ مستوياتِ تنظيمٍ إضافيةٍ لاستيعابِ التنوُّعِ الهائلِ في أصنافِ بعضِ الأنواع.



**الشكل 4-2**
إن الأسماءَ التي يتمُّ اختيارُها لبعضِ الكائناتِ الحيةِ تعكسُ سماتِ الكائنِ الحي. الأميبا *Chaos chaos* (65 ×)تبدِّلُ شكلَها باستمرار.

### مراجعةُ القسم 4-1

1. كيف صنّفَ أرسطو الكائناتِ الحية؟ ولماذا تبيّنَ أن تصنيفَهُ غيرُ ملائم؟
2. ما المعيارُ الذي استخدمَهُ لينيوس في تصنيفِ الكائناتِ الحية؟
3. ما مستوياتُ التنظيمِ السبعةُ التي استخدمَها لينيوس لتقسيمِ الكائناتِ الحيةِ إلى مجموعات؟
4. ما الأسبابُ التي تجعلُ الاسمَ العلميَّ أكثرَ دقةً من الأسماءِ الشائعة؟
5. اذكرْ مشكلتينِ تمَّ حلُّهما باستخدامِ نظامِ التصنيفِ والتسميةِ الثنائية.
6. **تفكيرٌ ناقد** ظهرتْ أعمالُ لينيوس قبلَ سنواتٍ عديدةٍ من أعمالِ مندل (مؤسس علم الوراثة). وما تزالُ مجموعاتٌ عديدةٌ وَضَعَها لينيوس صالحةً حتى اليوم في ضوءِ الصلاتِ الوراثية. فلماذا؟ وضِّحْ ذلك.

# تحـويلُ الـفوضــى إلـى نظـام

## من منظـورٍ تاريخـي

**خلالَ القرنينِ الخامسَ عشرَ والسادسَ عشرَ لفتَ نظرَ علماءِ الطبيعةِ العددُ الكبيرُ من الحيواناتِ والنباتاتِ التي لم تكنْ معروفةً ثم اكتُشِفتْ في العالمِ الجديد. فقد عادَ المستكشفونَ الأوروبيونَ من أجزاءٍ أخرى من العالمِ بعددٍ كبيرٍ من الكائناتِ الحيةِ غيرِ المعرَّفة، فصارَ من الصعبِ تتبُّعُها وتغطيتُها جميعًا. ولم تكنْ هناكَ طريقةٌ معتمدَةٌ ومقبولةٌ لتسميةِ الحيواناتِ والنباتاتِ وتصنيفِها قبل ظهورِ نظامِ التسميةِ الثنائيةِ الذي وضعَهُ كارولوس لينيوس. وضعَ لينيوس نظامًا لجمعِ الكائناتِ الحيةِ بطريقةٍ تعكسُ الصلاتِ التي تربطُ بين هذه الكائنات.**

### زهرةٌ تحت أيِّ اسم آخر...

يستخدمُ الناسُ، عبرَ العالم، أسماءً شائعةً أو مألوفةً للنباتات. ففي بعضِ الأحيان، يستخدمونَ أسماءً مختلفةً للنباتِ ذاتِه، أو أسماءً متشابهةً لنباتاتٍ مختلفة. تصوَّرْ كم كانَ من الصعبِ على الناس، في البلدانِ المختلفة، أن تكونَ لديهم معرفةٌ مشتركةٌ في عالَمِ الطبيعةِ قبل ظهورِ نظامٍ قياسيٍّ لتسميةِ النباتاتِ والكائناتِ الحيّةِ الأخرى.

علماءُ الطبيعةِ الأوائلُ احتاجوا إلى نظامٍ لتسميةِ الكائناتِ الحية، ووضعِها في مجموعاتٍ تقومُ صلاتٌ فيما بينها، على أن تكونَ الأسماءُ قصيرةً ووصفية، وأن تُكتبَ بلغةٍ مقبولةٍ ومفهومةٍ وواسعةِ الانتشار. وبالرغمِ من أن بعضَ المحاولاتِ المبكرةِ قد جرتْ لابتكارِ أنظمةٍ للتصنيف، فقد كانَ كارولوس لينيوس أولَ من طوّرَ نظامًا استُخدِمَ على نطاقٍ واسع.

### بذورُ التغيير

وُلِدَ كارولوس لينيوس في السويد، عام 1707، وكان عاشقًا للنباتاتِ وللطبيعة، بتأثيرٍ من والدِهِ الذي قامَ بتثقيفِهِ في مجالِ عالمِ الطبيعة، وعلّمَهُ أسماءَ الكثيرِ من النباتات. كانَ لينيوس في العام 1732 يعملُ محاضرًا في جامعةِ أوبسالا University of Upsala. فقامَ برحلةٍ إلى منطقةٍ لم تُستكشفْ بشكلٍ واسع، هي لابلاند Lapland من شماليِّ اسكندينافيا.

ساعدتْ الرحلةُ إلى لابلاند على تنبُّهِ لينيوس إلى ضرورةِ وجودِ نظامٍ قياسيٍّ للتصنيف، وهي مهمةٌ أصبحتْ فيما بعد إنجازًا مهمًّا في حياتِه. عبرَ استخدامِ البحثِ الذي سبقَ أن قامَ به عالمُ النباتِ الألمانيُّ رودولف كاميريوس Rudolph Camerius، قسَّمَ لينيوس النباتاتِ الزهريةَ جميعَها إلى 23 طائفة. ووضعت هذه الطوائفُ على قاعدةِ عددِ وطولِ وترتيبِ الأسديةِ stamens والمدقةِ Pistils. أمّا الطائفةُ الرابعةُ والعشرون فتضمُّ النباتاتِ اللازهرية، كالطحالب.

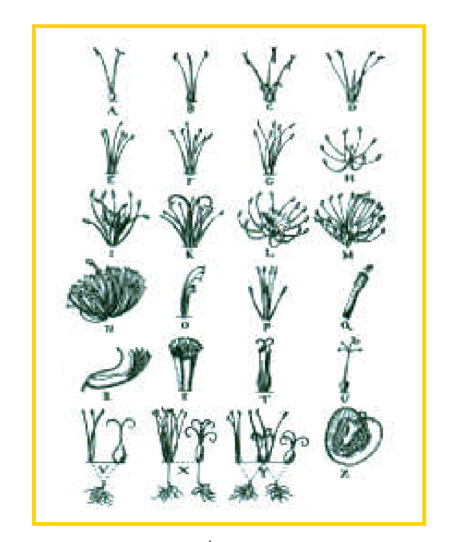


كارولوس لينيوس **Carolus Linnaeus**

### بدايةُ ترسيخِ نظامِ التصنيف

تأثرَ عالمُ النباتِ الهولنديُّ الشهير جان فريدريك جرونوفيوس Jan Fredric Gronovius بقوةٍ بالأعمالِ المبكرةِ التي قامَ بها لينيوس في علمِ النبات. وقد سدَّدَ جرونوفيوس كلفةَ نشرِ كتابِ لينيوس Systema Naturae (1735) الذي كان يحتوي على تباشيرِ نظامِ لينيوس لتصنيفِ الحيواناتِ والنباتات.

أما الإسهامُ الأكبرُ للينيوس في علمِ الأحياءِ فكانَ إدخالَ نظامِ التسميةِ الثنائية، الذي يتألفُ فيه الاسمُ العلمي،



**يبيّنُ هذا الرسمُ التصويريُّ الذي وُضِعَ لارفاقِهِ في كتابِ لينيوس Systema Naturae تقسيمَ النباتاتِ الزهريةِ إلى 23 طائفةً، استنادًا إلى عددِ وترتيبِ الأسديةِ والمدقاتِ وأطوالِها النسبيةِ.**

لكائنٍ حي، من جزءين يرجعانِ إلى جذورِ كلماتٍ لاتينية. وابتكر عالِمُ الطبيعةِ الفرنسيّ جوزيف تورنوفور Joseph Tournefort مفهومَ اسمِ الجنس. أما مفهومُ الاسمِ الثاني، اسمِ النوعِ، فقد ابتكرَهُ لينيوس. قبل تقديمِ هذا النظامِ، نظامِ التسميةِ الثنائيةِ، كانَ كلُّ صنفٍ من النباتِ يوصفُ من خلالِ 12 كلمةً توصيفيةً خاصةً به. ولينيوس كان أولَ من طبّقَ الاستخدامَ المتجانسَ للتسميةِ الثنائيةِ على جميعِ الكائناتِ الحيةِ. تمثلتْ ميزةُ هذه الطريقةِ في كونِها توفِّرُ بطاقةَ تسميةٍ قياسيةٍ لكلِّ نوعِ كائنٍ حيٍّ كبديلٍ عن الاسمِ الشائعِ.

لم ينجُ نظامُ تصنيفِ لينيوس من النقدِ على يدِ معاصريه. فقد اتُّهِمَ بأنه فرضَ نظامًا اصطناعيًّا على الطبيعةِ. وقد اعترضَ النقّادُ على طريقتِهِ في التصنيفِ لأنها تستندُ إلى صفةٍ واحدةٍ فقط للأزهارِ وربما كانت الأقلَّ أهميةً، وهي ترتيبُ أجزاءِ الزهرةِ.

طَرَح لينيوس نظامَ التسميةِ الثنائيةِ، لأولِ مرة، في كتابِهِ الذي حملَ عُنوان «أنواعَ النباتات» Species Planterum (1753). احتوى هذا الكتابُ، وهو من مجلّدين، على جميعِ النباتاتِ التي ألِفَها لينيوس، وكان بمثابةِ عملٍ إيضاحيٍّ لفائدةِ هذا النظامِ. بعد نشرِ الكتابِ أصبحَ نظامُ التسميةِ الثنائيَّةِ أكثرَ انتشارًا من جميعِ الأنظمةِ المستخدمةِ في أعمالِ تصنيفِ عالَمِ النباتات. ونلحظُ ذلكَ من التعليقِ الذي ضمَّنه لينيوس في إحدى رسائلِهِ إلى صديقٍ له، حيثُ يقول:

**«اليومَ أصبحَ العالمُ كلُّهُ مهتمًّا بالكتابةِ في حقلِ علمِ النباتِ، وأصبحَ الجميعُ، الآنَ، قادرينَ على التقدمِ إلى الأمامِ، ودونَ صعوبةٍ، بفضلِ طريقتي».**

## ثمارُ جهودِه

منذُ أن ابتكرَ لينيوس، وللمرةِ الأولى التصنيفَ الثنائيَّ أصبحَ الاهتمامُ مركزًا على أساليبِ التصنيفِ الحديثِ التي تعكِسُ الصلاتِ والروابطَ بين الكائناتِ الحيةِ. وقد اقترحَ العلماءُ، في العصرِ الحديثِ، على نحوِ ما قامَ به لينيوس بالذاتِ، مراجعةَ نظامِ التصنيفِ التقليدي. وفي ضوءِ الأبحاثِ الحديثةِ اقترحوا وضعَ تسمياتٍ لمملكةٍ جديدةٍ تخصُّ الكائناتِ الحيةَ أحاديةَ الخليةِ. وما تزالُ أسماءُ تلك الكائناتِ الحيةِ تستندُ إلى النظامِ الثنائي (الاسمِ العلميِّ) الذي ابتكرَهُ لينيوس.



***Mertensia virginica*** **المعروفُ كنباتٍ تحت اسمِ الجرَسِ الأزرقِ Bluebell يجسِّدُ المشكلةَ الناشئةَ عن استخدامِ الأسماءِ الشائعة. ففي أوروبا وآسيا تسمّى النباتاتُ التي تنتمي إلى الجنسِ *Endymion* الجَرَسَ الأزرقَ. وفي أمكنةٍ أخرى تسمّى بعضُ أنواعِ هذهِ الأجناسِ: *Clematis, Palemonium, Campanula* باسمِ الجرَسِ الأزرقِ كذلك.**

القسم

2-4

## مؤشراتُ الأداء

▲ يصفُ نظامَ الممالكِ الستِّ للتصنيف.

● يُميِّزُ بين البكتريا القديمةِ والبكتيريا الحقيقية.

■ يوضحُ سببَ وضعِ كائناتٍ حيةٍ مختلفةٍ ضمنَ مملكةِ الطلائعيات.

◆ يعددُ الأدلةَ التي سرّعتِ ابتكارَ نظامِ التصنيفِ ذي المجالاتِ الثلاثة.

▲ يوضحُ الاختلافَ الرئيسَ بين نظامِ الممالكِ الستِّ ونظامِ المجالاتِ الثلاثةِ للتصنيف.

# أنظمةُ التصنيفِ الحديثة

صنّفَ أرسطو الكائناتِ الحيةَ إلى نباتاتٍ أو حيوانات. إلاّ أننا اليومَ نشهدُ وجودَ أشكالٍ عديدةٍ من الحياةِ التي لا تنتمي إلى أيٍّ من الصنفين. وستتعرَّفُ في هذا القسمِ نظامين بديلينِ للتصنيفِ يُستخدَمانِ بكثرة. لكن عليك أن تتذكرَ أن الأنظمةَ التصنيفيةَ اقترحَها الإنسان، ويمكنُ تغييرُها عندَ ظهورِ معلوماتٍ جديدة.

## نظامُ الممالكِ الست

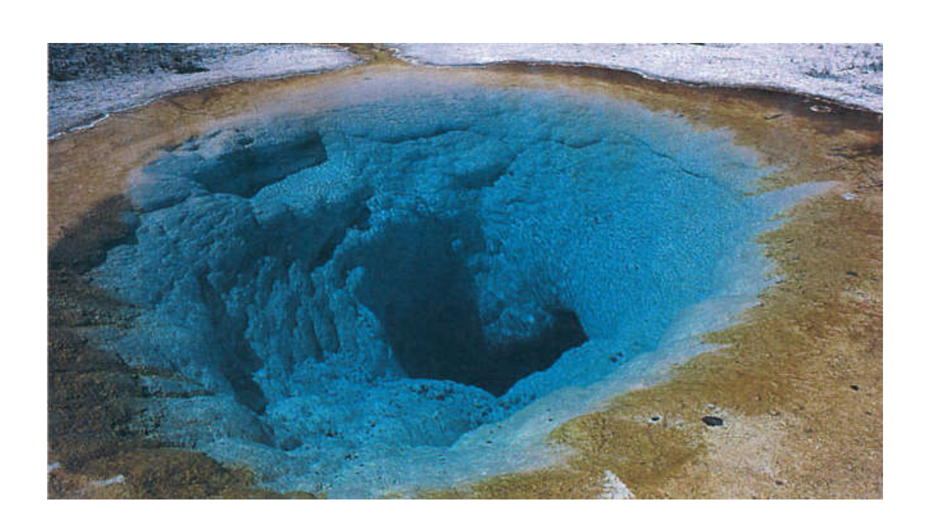
كان نظامُ التصنيفِ الذي يستندُ إلى الممالكِ الخمسِ للكائناتِ الحيةِ النظامَ المفضّلَ لدى علماءِ التصنيفِ لسنواتٍ عدة. إلاّ أن الدراسةَ الإضافيةَ للبكتريا بيّنتْ وجودَ نوعين فرعيين مهمَّيْنِ لهما شكلٌ خارجيٌّ وخصائصُ مختلفةٌ جدا. دفعَ تعرُّفُ هذينِ النوعينِ المنتشرينِ من البكتريا إلى القبولِ بنظامٍ أحدث، نظامِ الممالكِ الست، وهو مبيّنٌ في الجدول 2-4، وقد جرى استخدامُهُ في هذا الكتاب.

### مملكةُ البكتيريا القديمة

إن أفرادَ **مملكةِ البكتيريا القديمة Kingdom Archaebacteria** كائناتٌ حيةٌ بدائيةُ النواة، أحاديةُ الخلية، وذاتُ أغشيةٍ خلويةٍ مميزة، كما أنها ذاتُ خصائصَ

**الجدولُ 2-4** ممالكُ الحياةِ الست

| المملكة | نوعُ الخلية | عددُ الخلايا | التغذية |
|---|---|---|---|
| البكتيريا القديمة | بدائيةُ النواة | أحاديةُ الخلية | ذاتيةُ التغذيةِ وغيرُ ذاتيةِ التغذية. |
| البكتيريا الحقيقية | بدائيةُ النواة | أحاديةُ الخلية | ذاتيةُ التغذيةِ وغيرُ ذاتيةِ التغذية. |
| الطلائعيات | حقيقيةُ النواة | أحاديةُ الخلية وعديدةُ الخلايا | ذاتيةُ التغذيةِ وغيرُ ذاتيةِ التغذية. |
| الفطريات | حقيقيةُ النواة | أحاديةُ الخلايا وعديدةُ الخلايا | غيرُ ذاتيةِ التغذية. |
| النبات | حقيقيةُ النواة | عديدةُ الخلايا | ذاتيةُ التغذيةِ ونادرًا غيرُ ذاتيةِ التغذية. |
| الحيوان | حقيقيةُ النواة | عديدةُ الخلايا | غيرُ ذاتيةِ التغذية. |



**الشكل 4-3**

غالبًا ما تعيشُ البكتيريا القديمةُ في محيطٍ بيئيٍّ غيرِ ملائمٍ لأشكالٍ أخرى من الحياة، ومن تلك الأماكنِ هذا الينبوعُ الحار.

كيميائيةٍ أحيائيةٍ ووراثيةٍ تختلفُ عما تتصفُ به جميعُ أصنافِ الحياةِ الأخرى. بعضُ أنواعِ البكتيريا القديمةِ ذاتيُّ التغذية، يُنتِجُ الموادَّ الغذائيةَ عن طريقِ البناءِ الكيميائي. أما فضلاتُها فتشتملُ على غازاتٍ قابلةٍ للاشتعالِ كغازِ الميثان. يعيشُ العديدُ من البكتيريا القديمةِ في محيطٍ ذي ظروفٍ قاسيةٍ كالينابيعِ الكبريتيةِ الحارة، كما في الشكل 4-3، وفي البحيراتِ الشديدةِ الملوحة، وفي بيئةٍ لا هوائيّة، كما هي الحالُ داخلَ أمعاءِ الثدييات.

## مملَكةُ البكتيريا الحقيقية

إن البكتيريا الحقيقية Eubacteria كائناتٌ حيّةٌ أحاديةُ الخليةِ وبدائيةُ النواة. معظمُ البكتيريا التي تؤثرُ في حياتِنا اليومية، كتلك التي تسببُ تسوُّسَ الأسنان، والتي تحوِّلُ الحليبَ إلى لبن، والتي تُسببُ تسمُّمًا غذائيًّا، هي أفرادٌ في **مملَكةِ البكتيريا الحقيقية Kingdom Eubacteria**. معظمُ أنواعِ البكتيريا الحقيقيةِ تستخدِمُ الأكسجين، إلاّ أن عددًا قليلاً منها لا يستطيعُ العيشَ مع وجودِ الأكسجين.

تشتملُ البكتيريا القديمةُ والبكتيريا الحقيقيةُ على أكبرِ عددٍ من الكائناتِ الحيةِ على الأرض.

البكتيريا الحقيقيةُ والبكتيريا القديمةُ تتكاثران عن طريقِ الانشطارِ الثنائي، إلاَّ أنها تملكُ بعضَ أساليبِ إعادةِ دمجِ الجينات، مما يسمحُ للتنوعِ بأن يتحقق. إن المُدَدَ، والقصيرةَ جدًّا منها، التي يقتضيها ظهورُ أجيالِ البكتيريا (لا تتعدى المدةُ 30 دقيقةً في بعضِ الأحيان) تسمحُ للاستجابةِ السريعة للتغيرِ في المحيط.

## مملكةُ الطلائعيات

تتألفُ **مملَكَةُ الطلائعيات Kingdom Protista** من كائناتٍ حيةٍ متنوعةٍ حقيقيةِ النواة، معظمُها أحاديُّ الخلية. وبعضُها عديدةُ الخلايا، ومنها الطُحلُبُ البحريُّ العملاقُ عُشبُ البحرِ Kelp الظاهرُ في الشكل 4-4. إن الطلائعياتِ عديدةَ الخلايا، تفتقرُ إلى الأنسجةِ التخصّصية، بالرغمِ من أنها تبدو شبيهةً جدًّا بالنباتات.

**الشكل 4-4**

بعضُ الطلائعياتِ عديدةُ الخلايا. هذا الطحلبُ البحريُّ العملاقُ عشب البحر Kelp الذي يعيشُ في المحيطاتِ يشبهُ النبات، إلاّ أنه يفتقرُ إلى تنظيمِ الأنسجةِ الذي نجدُهُ في النباتاتِ الراقية.



ولكونها كائناتٍ حيةً حقيقيةَ النواة، فإنها تمتلكُ نواةً حقيقيةً محاطةً بغشاءٍ وفيها كروموسوماتٌ خيطيةُ الشكلِ ولديها عضيّاتٌ محاطةٌ بأغشية.

تحتوي مملَكَةُ الطلائعياتِ على جميعِ الكائناتِ الحيةِ حقيقيةِ النواةِ باستثناءِ النباتيةِ والحيوانيةِ والفطرية، وتُعَدُّ أكثرَ من 50,000 نوع.

تشكلُ اليوجلينا والأميبا نوعينِ شائعينِ من الطلائعياتِ أحاديةِ الخلية. اليوجلينا، كهذهِ الظاهرةِ في الشكل 4-5، قادرةٌ على أن تقتاتَ بكائناتٍ حيةٍ أخرى، مثلما يقتاتُ الحيوان، إلاّ أنها مزودةٌ ببلاستيداتٍ خضراءَ تُمكِّنُها من القيامِ بعمليةِ البناءِ الضوئيِّ في حالِ توفرِ الضوء. والأميبا الظاهرةُ في الشكل 4-2، تقتاتُ بكائناتٍ حيةٍ أخرى وتستجيبُ لِلَّمْسِ وللضوء. ومع ذلك، فإن اليوجلينا ليستْ نباتًا، والأميبا ليستْ حيوانًا، إلا أنَّ النوعينِ من الطلائعيات.



**الشكل 4-5**

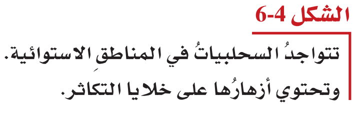
**النوعُ *Euglena gracilis* (580 ×)، كغيرهِ من أنواعِ اليوجلينا، هو من الطلائعياتِ أحاديةِ الخلية، ويمكنُهُ أن يكونَ ذاتيَّ التغذيةِ أو غيرَ ذاتيِّ التغذية، وفقًا للظروفِ السائدةِ في محيطهِ البيئي.**

## مملَكَةُ الفِطْريّات

تتألفُ **مملَكَةُ الفطريات Kingdom Fungi** من كائناتٍ حيةٍ غيرِ ذاتيةِ التغذية، حقيقيةِ النواة، أحاديةِ الخليةِ وعديدةِ الخلايا. تمتصُّ الفطرياتُ الموادَّ الغذائيةَ بدلاً من ابتلاعِها، على نحوِ ما تفعلُهُ الطلائعياتُ كالأميبا. وهناك ما يزيدُ عن 100,000 نوعٍ من الفطريات، من ضمنِها المشروم Mushroom، وفطرُ الصدأ Rust، والعفنُ الفطري Mildew (يصيبُ الكرمة)، والكمأ Truffle.

## مملَكَةُ النبات

تتألفُ **مملَكَةُ النبات Kingdom Plantae** من نباتاتٍ عديدةِ الخلايا. وجميعُها كائناتٌ حيةٌ ذاتيةُ التغذية، تعتمدُ على البناءِ الضوئيِّ كمصدرٍ للطاقة، باستثناءِ النباتاتِ المتطفلة. معظمُ النباتاتِ يعيشُ على اليابسة، ويتكاثرُ معظمُها عن طريقِ التكاثرِ الجنسي. جرى تحديدُ وتعريفُ ما يزيدُ عن 350,000 نوعٍ من النباتات. وهي تشتملُ على الحزازياتِ والسرخسياتِ والمخروطياتِ والنباتاتِ الزهرية أمثالِ هذهِ السحلبيةِ الظاهرةِ في الشكل 4-6.



**الشكل 4-6**

**تتواجدُ السحلبياتُ في المناطقِ الاستوائية. وتحتوي أزهارُها على خلايا التكاثر.**



## مملَكَةُ الحيوان

تتألفُ **مملكةُ الحيوان Kingdom Animalia** من كائناتٍ حيةٍ حقيقيةِ النواة غيرِ ذاتيةِ التغذيةِ وعديدةِ الخلايا. معظمُ الحيواناتِ لها أجسامٌ متماثلةُ التنظيم، وهي تتحركُ متنقلةً في محيطاتِها البيئية. ولمعظمِ الحيواناتِ دورةٌ جنسيةٌ قياسيةٌ تقومُ على الانقسامِ المنصِّفِ في عمليةِ التكاثرِ لتكوينِ الأمشاج.

نظامُ الممالكِ الست

| البكتيريا القديمة | البكتيريا الحقيقية | الطلائعيات | الفطريات | النبات | الحيوان |
|---|---|---|---|---|---|

نظامُ المجالاتِ التصنيفيةِ الثلاثة

| الكائناتُ الحيةُ القديمة Archaea (البكتيريا القديمة) | البكتريا (البكتيريا الحقيقية) | الكائناتُ الحيةُ حقيقيةُ النواة Eukarya |
|---|---|---|

**الشكل 7-4**
إن نظامَ المجالاتِ الثلاثة يسلّطُ الضوءَ على أهميةِ البكتيريا القديمة كشكلٍ من أشكالِ الحياة. غالبًا ما يُستخدمُ هذا النظامُ من قبلِ علماءِ الأحياءِ الجزيئية. لاحظْ أنَّ مجالَ الكائناتِ الحيةِ حقيقيةِ النواةِ يتضمنُ أفرادًا من ممالكِ الطلائعياتِ والنباتِ والفطرياتِ والحيوان.

## نظامُ المجالاتِ التصنيفيةِ الثلاثة

يبدو أن الكائناتِ الحيةَ تقعُ بشكلٍ طبيعيٍّ ضمنَ ثلاثِ مجموعاتٍ كبرى أو **مجالات Domains**. وهذه المجالاتُ مبيّنةٌ بالمقارنةِ مع الممالكِ الستِّ في الشكل 7-4.

**مجالُ الكائناتِ الحيةِ القديمة Domain Archaea** وتُمثِّلُهُ في نظامِ الممالكِ الستِّ مملكةُ البكتيريا القديمة.

**مجالُ البكتيريا Domain Bacteria** وتُمثِّلُهُ في نظامِ الممالكِ الستِّ مملكةُ البكتيريا الحقيقية.

**مجالُ الكائناتِ الحيةِ حقيقيةِ النواة Domain Eukarya** ويتألفُ من ممالكِ الطلائعياتِ والفطرياتِ والنباتاتِ والحيوانات.

### جذرُ الكلمةِ وأصلُها

**مجال**
domain
من اللاتينية dominium ومعناها «حقُّ الملكية»

## مراجعةُ القسم 2-4

1. ما الممالكُ الستُّ في نظامِ الممالكِ الستّ للتصنيف؟
2. ما الأسبابُ التي تجعلُ دراسةَ البكتيريا القديمةَ صعبة؟
3. ما المملكةُ التي تتميزُ بأكبرِ قدرٍ من عدمِ التجانسِ في الشكلِ الخارجي؟
4. ما الفرقُ بينَ المملكةِ والمجال؟
5. لماذا تنتمي الطلائعياتُ والفطرياتُ والنباتاتُ والحيواناتُ إلى مجالِ التصنيفِ نفسِه؟
6. **تفكيرٌ ناقد** في نظامِ الممالكِ الخمس، الذي لا يزالُ يستخدمُهُ بعضُ العلماء، جُمعتْ كلُّ أنواعِ البكتيريا في مملكةِ البدائيات Monera. لماذا صُنِّفتْ جميعُ البكتيريا في مملكةٍ واحدة؟

# مراجعةُ الفصل 4

## ملخص / مفردات

**1-4** ■ علمُ التصنيفِ هو علمُ وضعِ الكائناتِ الحيةِ في مجموعاتٍ وفقًا لشكلِها الخارجيِّ وتركيبِها.

■ ابتكرَ كارولوس لينيوس نظامَ ترتيبٍ تسلسليّ من سبعةِ مستوياتٍ لتصنيفِ الكائناتِ الحيةِ وفقًا لشكلِها وتركيبِها. تسمى هذه المستوياتُ بالتسلسلِ من الأعمِّ إلى الأخصّ: مملَكة، شعبة، طائفة، رتبة، عائلة، جنس، نوع. هذا النظامُ لا يزالُ مستخدمًا حاليًّا.

■ يتكونُ الاسمُ العلميُّ من اسمِ الجنسِ واسمِ النوعِ.

### مفردات

- الاسمُ العلمي Scientific name (49)
- تحت النوع Subspecies (49)
- التسميةُ الثنائية Binomial nomenclature (49)
- الجنس Genus (48)
- الرتبة Order (48)
- الشعبة Phylum (48)
- الطائفة Variety (49)
- الصنف Class (48)
- العائلة Family (48)
- علمُ التصنيف Taxonomy (47)
- القسم Division (48)
- المملكة Kingdom (48)
- النوع Species (48)

**2-4** ■ يستخدِمُ الكثيرونَ من علماءِ التصنيفِ نظامَ الممالكِ الستِّ للتصنيف، وهو يعترفُ بالطبيعةِ الفريدةِ للبكتيريا القديمة.

■ إن البكتيريا القديمةَ التي يعيشُ بعضُها في محيطٍ ظروفُهُ بالغةُ القسوة، قد جرى تجاهلُها بشكلٍ واسعٍ مدةً طويلة.

■ يوجدُ نظامُ تصنيفٍ بديل يجمعُ كلَّ الكائناتِ الحيةِ حقيقيةِ النواةِ، ويعتمدُ على ثلاثةِ مجالاتٍ كبرى هي: مجالُ الكائناتِ الحيةِ حقيقيةِ النواة، ومجالُ البكتيريا (البكتيريا الحقيقية)، ومجالُ الكائناتِ القديمة (البكتيريا القديمة).

### مفردات

- بكتيريا حقيقية Eukaryotic Bacteria (53)
- مملكةُ البكتيريا الحقيقية (53) Kingdom Eubacteria
- مملكةُ البكتيريا القديمة (52) Kingdom Archaebacteria
- مملكةُ الحيوان Kingdom Animalia (54)
- مملكةُ الطلائعيات Kingdom Protista (53)
- مملكةُ الفطريات Kingdom Fungi (54)
- مملكةُ النبات Kingdom Plantae (54)
- المجال Domain (55)
- مجالُ البكتيريا Domain Bacteria (55)
- مجالُ الكائناتِ الحيةِ حقيقيةِ النواة (55) Domain Eukarya
- مجالُ الكائناتِ الحيةِ القديمة (55) Domain Archaea

## مراجعة

### مفردات

1. ميِّزْ بين الاسمِ العلميِّ والاسمِ الشائع.
2. ما الفرقُ بين الشعبةِ والقسم؟
3. ما الفرقُ بين تحتِ النوعِ والطائفة ؟

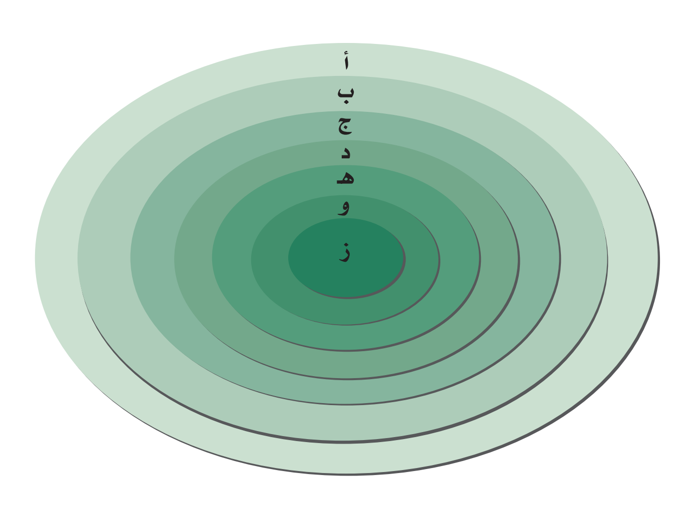
### اختيارٌ من مُتعدِّد

4. يشتملُ الاسمُ العلميُّ على معلوماتٍ حول (أ) النوعِ والشعبة (ب) القِسْمِ والجنس (ج) الجنسِ والرتبة (د) الجنس والنوع.
5. صنَّفَ أرسطو النباتاتِ على أساسِ الفوارقِ في (أ) السوق (ب) الأزهار (ج) الأوراق (د) الجذور.
6. صنفَ لينيوس الكائناتِ الحيةَ على أساسِ أوجهِ الشبهِ في (أ) جيناتِها (ب) بروتيناتِها المتماثلة (ج) علمِ الشكلِ الخارجيِ (د) عِلمِ الأجنّة.
7. مجموعةُ الطوائفِ ذاتِ الصفاتِ المشتركةِ تكوّنُ (أ) جنسًا (ب) رتبة (ج) شعبة (د) مملكة.
8. تقسمُ مملكةُ الحيوانِ إلى شعب. عند المستوى التنظيمي نفسِهِ تقسمُ مملكةُ النباتِ إلى (أ) الاصناف (ب) أقسام (ج) أنواع (د) أجناس.
9. تُقسَمُ بعضُ أنواعِ الحيواناتِ إلى (أ) أنواعٍ متطابقة (ب) الطائفة (ج) تحت أنواع (د) توائم.
10. تشتملُ مملكةُ الطلائعياتِ على (أ) البكتيريا (ب) النبات (ج) الطحالب (د) الفطريات.

11. بعضُ الطلائعياتِ تشبهُ النباتاتِ من حيثُ (أ) أنها تقومُ بالبناءِ الضوئي (ب) أن أنسجتَها ذاتُ تنظيمٍ مشابهٍ للأنسجة النباتية (ج) أنها تبتلعُ الموادَّ الغذائية (د) أنها أحاديةُ الخلية.

## إجابةٌ قصيرة

12. اذكرِ المستوياتِ السبعةَ للترتيبِ التسلسليِّ في تصنيفِ لينيوس، انطلاقًا مما هو الأعم أ، إلى ما هو الأخصّ ز.




13. ما وجهُ الشبهِ الذي يشتركُ فيه نظامُ تصنيفِ لينيوس ونظامُ أرسطو؟
14. لماذا يعدُّ الاسمُ العلميُّ مُهمًّا في مجالِ العملِ العلمي؟
15. ما أوجهُ الاختلافِ بين النباتاتِ والفطريات؟
16. سمِّ ثلاثةَ أشياءَ تخصُّ كائنًا حيًّا ويمكنُك تعلمُها من خلالِ البحثِ عن معنى اسمِهِ العلمي؟
17. كيف تُنتِجُ بعضُ البكتيريا القديمةُ غذاءَها؟
18. ما الصفاتُ المشتركةُ بين النباتاتِ والفطرياتِ من جهة والحيواناتِ من جهةٍ أخرى؟

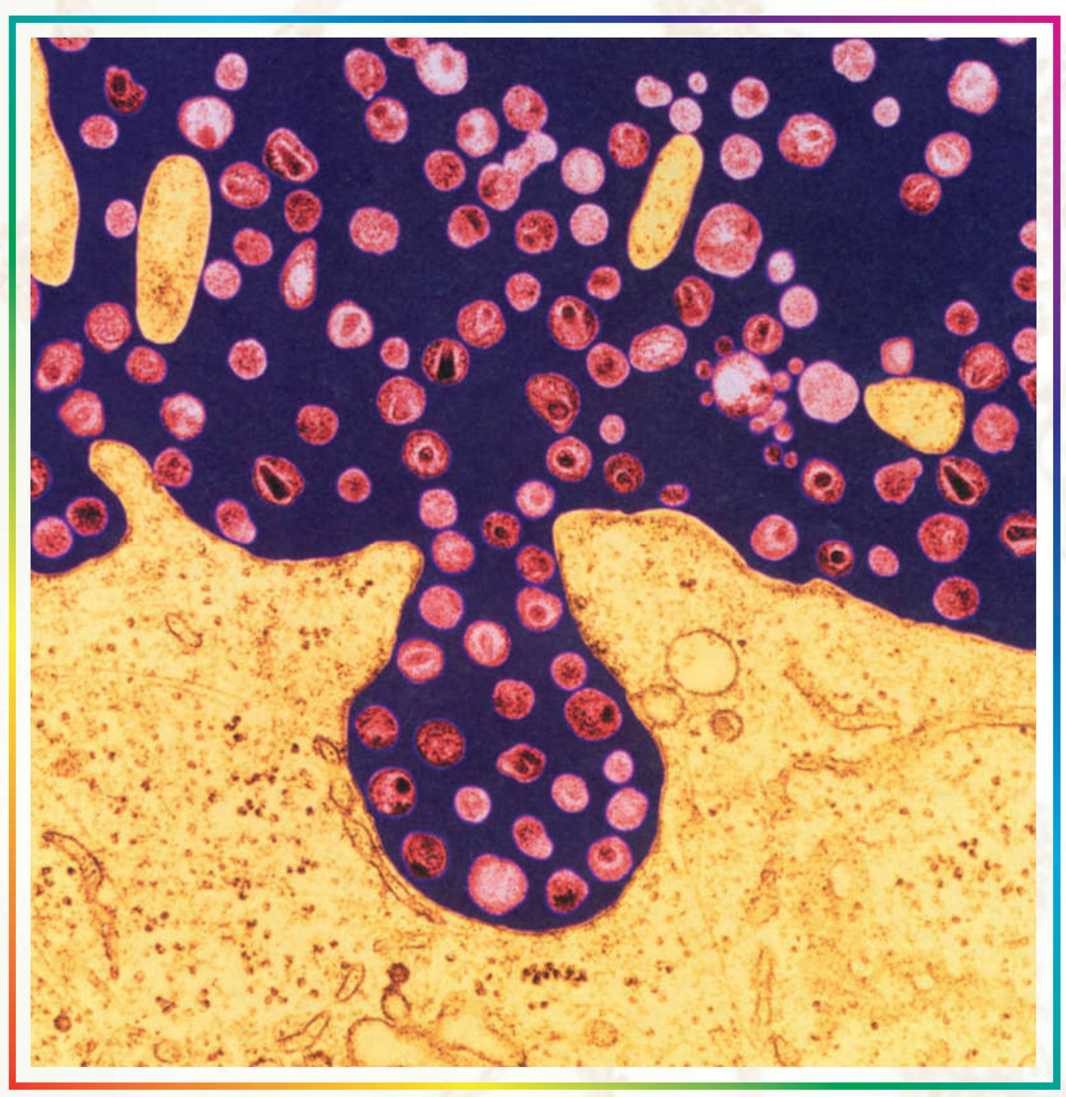
## تفكيرٌ ناقد

1. يظنُّ علماءُ الأحياءِ أن ملايينَ الأنواعِ من الكائناتِ الحيةِ على الأرض لم يتمَّ وصفُها بعد. لماذا لم يتمُّ بعدُ وصفُ وتصنيفُ هذا العددِ الكبيرِ من الأنواعِ الحية؟
2. امتلاكُ الأرجلِ هو من الصفاتِ المشتركةِ بين الفقاريات. والمفصليّاتُ كالصرصارِ وسرطانِ البحرِ هي ذاتُ أرجل، وهذا لا يعدُّ صفةً مشتركةً بينها وبين الفقاريات. لماذا؟

## توسيعُ آفاقِ التفكير

1. زُرْ حديقةَ حيوانات، وضعْ قائمةَ الأسماءِ العلميةِ لجميعِ ما تُشاهدُه من حيوانات، أو استخدمْ مراجعَكَ المكتبيةَ لإيجادِ 10 كائناتٍ حية. دوِّنِ الأسماءَ العلميةَ والأسماءَ الشائعةَ لهذهِ الكائناتِ الحية. اذكرْ لكلِّ حيوانٍ صفةً واحدةً مكَّنتْ علماءَ التصنيفِ من تصنيفِهِ في الجنسِ أو العائلةِ التي ينتمي إليها.
2. خُذْ نصفَ كوبٍ من ماءِ بركةٍ ضحلة، وادرسْ عدةَ عيناتٍ منهُ باستخدامِ المجهر. ارسُمِ الكائناتِ الحيةَ التي تجدُها، وصنِّفْها، قدرَ استطاعتِكَ، في المملكةِ وفي الشعبةِ المناسبة.

# الفيروسات



إنَّ فيروسَ فقدانِ المناعةِ لدى الإنسان HIV الظاهرَ هُنا باللّونِ الزهريِّ، هوَ سببُ متلازمةِ فقدانِ المناعةِ المكتسب AIDS. (29,640 ×)



**المفهومُ الرئيس:** الاعتمادُ المتبادلُ بينَ الكائناتِ الحيَّة

وأنتَ تقرأُ، لاحظْ أنَّ تركيبَ الفيروساتِ ودورةَ تضاعفِها يميِّزانِها منَ الكائناتِ الحيَّةِ.

القسم

# 1-5

## مؤشراتُ الأداء

▲ يوضحُ تركيبَ الفيروسات.

● يصفُ الإنجازَ الذي حقَّقَهُ وندل ستانلي في مجال تطوُّرِ علم الفيروسات.

■ يحدِّدُ مدى قياساتِ الفيروسات وأشكالَها.

◆ يحددُ أسسَ تصنيفِ الفيروسات.

▲ يقارنُ بينَ الفيروساتِ والبريونات.

# الفيروس

**الفيروس Virus** دقائقُ صغيرة جدًا تتكوَّنُ منْ حمضٍ نوويٍّ وغلافٍ بروتيني. والفيروساتُ على الرغمِ من أنها ليستْ كائناتٍ حيَّة، إلا أنها تُسببُ الأمراضِ الكثيرةِ التي تصيبُ الكائناتِ الحيَّة. وتسمّى دراسةُ الفيروساتِ والأمراضِ التي تسببُها **علمَ الفيروسات Virology**.

## نشوءُ علمِ الفيروسات

في أواخرِ القرنِ التاسعَ عشرَ، أدركَ العلماءُ أنَّ عاملاً ما، أصغرَ من البكتيريا، يسببُ الأمراض. إلاّ أنَّهم كانوا يفتقرونَ إلى التكنولوجيا التي تُريهم تراكيبَهُ وتمكِّنُهم من دراستِهِ بعمق. وفي العام 1935 حقَّقَ العلماءُ المزيدَ منَ المعرفةِ حولَ طبيعةِ الفيروسات، وذلك بقيامِ وندل ستانلي (1904-1971) Wendell Stanley بفصل فيروس تبرقشِ أوراقِ التبغِ على شكلِ بلّورات، وهو عنصرٌ مسؤولٌ عن تبرقشِ أوراقِ التبغِ وذبولِها. أوحتْ أعمالُ ستانلي باحتمالِ أن تكونَ الفيروساتُ موادَّ كيميائيَّةً بدلاً من أن تكونَ خلايا شديدةَ الصغر. وكانَ هناكَ اعتقاد، قبلَ أن يتوصَّلَ ستانلي إلى فصلِ الفيروسِ على شكلِ بلّورات، بأنَّ الفيروساتِ هي خلايا بدائيَّة، الجدول 1-5 يقارنُ بينَ الفيروساتِ والخلايا.

**الجدولُ 1-5** مقارنةٌ بينَ الفيروساتِ والخلايا

| خصائصُ الحياة | الفيروس | الخليّة |
|---|---|---|
| النموّ | لا | نعم |
| الاتّزانُ الداخليّ | لا | نعم |
| الأيض | لا | نعم |
| الطفرة | نعم | نعم |
| المادةُ الوراثية | DNA أو RNA | DNA |
| التكاثر | داخلَ خليّةِ العائلِ فقط | بصورةٍ مستقلّة، عن طريقِ الانقسامِ الخلوي |
| التركيب | حمضٌ نووي، وغطاءٌ بروتيني، وغلافٌ في بعضِ الحالات | سيتوبلازم، غشاءٌ خلوي، هيكلٌ خلويٌّ، عضياتٌ أخرى لدى الخليّةِ حقيقيّةِ النواة |

# خصائصُ الفيروسات

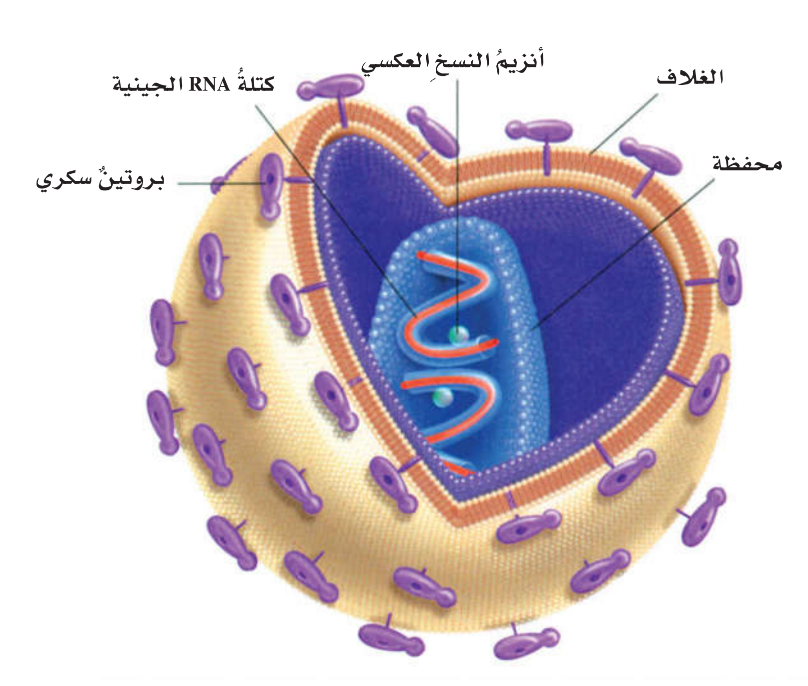
الفيروساتُ من أصغرِ الدقائقِ الأحيائيَّةِ التي تستطيعُ التسبُّبَ بأمراضٍ لدى الكائناتِ الحيَّةِ. يراوحُ قياسُ أقطارِالفيروساتِ ما بينَ 20 nm، وهي طولُ قطرِ فيروسِ شللِ الأطفالِ الشديدِ الصغر، و 250 nm تقريبًا وهي طولُ قُطرِ فيروسِ الجدريِّ الكبيرِ الحجمِ، وهذا هو حجمُ أصغرِ بكتريا. النانومتر الواحدُ يساوي 0.001 ميكرومتر ($1 \times 10^{-9}$ من المتر).

تتكوَّنُ الفيروساتُ من مركباتٍ توجدُ عادةً في الخلايا، ولا تُعَدُّ كائناتٍ حية، مع أن لديها بعضَ خصائصِ الحياةِ - الواردةِ في الصفِّ العاشر الفصل 1 - وليس كلّها. فليسَ لديها نواةٌ أو سيتوبلازمٌ أو عضيّاتٌ أو غِشاءٌ خلوي، وليس باستطاعتِها القيامُ بوظائفَ خلوية. والفيروساتُ، معَ ذلك، قادرةٌ على التضاعفِ عن طريقِ دخولِ الخلايا واستخدامِ العضيّاتِ والأنزيماتِ الموجودةِ في داخلِها.

## تركيبُ الفيروس

جميعُ الفيروساتِ تشتملُ على مكونينِ أساسيَّين، هما حمضٌ نوويٌّ وغِطاءٌ بروتينيٌّ يحيطُ به. يمكنُ للحمضِ النوويِّ الفيروسيِّ أن يكونَ حمضَ DNA أو حمضَ RNA، ولا يكونُ الاثنانِ معًا. ويمكنُ لشكلِ الحمضِ أن يكونَ حلزونيًّا، أو على صورةِ حلقةٍ مقفلة، أو على شكلِ شريطٍ طويل، وذلك حَسَبَ نوعِ الفيروس. ويسمّى الغِطاءُ البروتينيُّ الذي يحيطُ بالحمضِ النوويِّ **محفظةَ** الفيروس **Capsid**.

لبعضِ الفيروساتِ تركيبٌ شبيهٌ بغشاءٍ يوجدُ خارجَ المحفظةِ ويسمّى **الغلاف Envelope**. تشتملُ الفيروساتُ ذاتُ الغلافِ على فيروساتِ الإنفلونزا، وجدري الماء، **وفقدانِ المناعةِ لدى الإنسان HIV**. عدْ إلى نموذجِ HIV في الشكل 5-1 لتتعرفَ التراكيبَ الفيروسيَّة.




**الشكل 5-1**
مظهرُ فيروسِ فقدانِ المناعةِ لدى الإنسان (HIV) يبيِّنُ بعضَ مزاياهُ التركيبيَّة.

### جذرُ الكلمةِ وأصلُها

**الفيروس**
**virus**
منَ اليونانيةِ ios، ومعناها «سُم»

### نشاطٌ عمليٌّ سريع

**حسابُ القياسِ بالنانومترات**

**المواد** مسطرةٌ متريةٌ ذاتُ تقسيمٍ مليّمتري، ورق، مقص، شريطٌ لاصق، قلمُ رصاص.

**الإجراء** قصَّ الورقَ على شكلِ شرائط، وألصِقِ الشرائطَ لتكوِّنَ شريطًا واحدًا بطولِ مترين. ارسمْ خطوطًا على الورقِ ودوِّنْ عليها تباعًا القياسات 1 m، 20 cm، 2 cm، 2 mm.

**التحليل**

1. اكتبْ معادلةً بجانبِ الخط 1 ليظهرَ أنَّ 1 يحتوي على مليارٍ واحدٍ من النانومترات.
2. اكتبْ معادلةً عندَ طرفِ الشريطِ الورقيِّ تبيِّنُ العلاقةَ التي تربطُ بينَ طولِ الورقةِ بالأمتارِ وطولِها بالنانومترات.
3. كم نانومترًا تعادلُ 1 cm، و 2 cm؟ اكتبِ المعادلاتِ بجانبِ علامتَيْ 2 cm و 20 cm لتظهرَ العلاقاتُ التي تربطُ بينَ السنتيمتر والنانومترات.
4. كم مليمترًا تُعادلُ 1 m؟ وكم نانومترًا في 1 mm، في 2 mm ؟ اكتبْ معادلة عند علامةِ 2 mm، لتبيِّنَ علاقَتَها بالنانومترات.

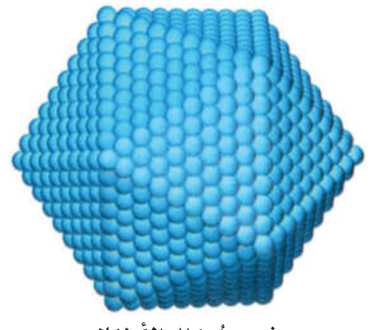
عند سطحِ الغلافِ توجدُ نتوءاتٌ مكوَّنةٌ من **بروتين سكري Glycoprotein**. هذه النتوءاتُ تتكونُ من بروتينٍ يحتوي على سلاسلَ سكريَّةٍ يستخدمُها الفيروسُ للالتصاقِ بخليَّةِ العائل.

## شكلُ الفيروسات

يمكنُ لشكلِ الفيروسِ أن يتحدَّدَ من خلالِ المِحفظةِ الخاصةِ به أو من خلالِ حمضِهِ النوويِّ. الشكل 5-2 يبيِّنُ مثالينِ لأشكالِ الفيروس. لبعضِ الفيروساتِ شكلٌ **عِشرينيُّ السطوح Icosahedron**، وهو شكلٌ هندسيٌّ ذو 20 وجهًا من المثلّثات. المحفظةُ الفيروسيةُ هي التي تجسِّدُ هذا الشكل. تشتملُ الفيروساتُ ذاتُ الشكلِ العِشرينيِّ السطوحِ على تلك الفيروساتِ التي تسببُ أمراضَ جدريِّ الماءِ وشللِ الأطفال.

هناكَ فيروساتٌ أخرى ذاتُ شكلٍ **حلزونيّ Helix**. الحلزونُ يشبهُ سلكًا ملتفًّا. والحمضُ النوويُّ الفيروسيُّ هو المسؤولُ عن هذا الشكل. فيروساتُ مرضِ الكَلَبِ والحصبةِ، وفيروسُ تبرقشِ التبغِ هي فيروساتٌ حلزونيةُ الشكل.


فيروسُ تبرقش التبغ
(حلزوني)


فيروسُ شلل الأطفال
(عشرينيُّ السطوح)

**الشكل 5-2**
للفيروساتِ أشكالٌ مختلفة. الشكلُ العشرينيُّ السطوحِ والشكلُ الحلزوني مثالانِ على أشكالِ الفيروسات.

# تصنيفُ الفيروسات

تُصنَّفُ الفيروساتُ بناءً على: وجودِ المحفظةِ والغلاف، واحتوائِها على الحمضِ DNA أو على الحمضِ RNA، الذي يتكوَّنُ من شريطٍ فرديٍّ أو من شريطٍ مزدوج. وتصنَّفُ الفيروساتُ كذلكَ بناءً على شكلِها وعلى تركيبِها.

## أنواعُ الفيروسات

الفيروساتُ ذاتُ الحمضِ DNA وذاتُ الحمضِ RNA تختلفُ من حيثُ استخدامُها الخليّةِ العائلِ المتعلّقةِ بإنتاجِ فيروساتٍ جديدة. يمكنُ للفيروس ذي الحمضِ DNA أن يعتمدَ لدى دخولِهِ الخليّةَ العائلَ على أحدِ الأسلوبينِ التاليين: أن يُنتِجَ، بصورةٍ مباشِرة، الحمضَ RNA الذي يصنعُ تاليًا المزيدَ من البروتيناتِ الفيروسيَّة، أو أن ينضمَّ إلى الحمضِ DNA الذي يخصُّ الخليَّةَ العائلَ لتوجيهِ عمليَّةِ بناءِ فيروساتٍ جديدة.

تتضاعفُ الفيروساتُ ذاتُ RNA بطريقةٍ مختلفةٍ عن الفيروساتِ ذاتِ DNA. لدى دخولِ RNA الفيروسيِّ إلى الخليَّةِ العائل، وانطلاقِهِ إلى داخلِ سيتوبلازمِها، يَستخدِمُ رايبوسوماتِ الخليَّةِ في عمليَّةِ بناءِ بروتيناتٍ فيروسيَّةٍ جديدة.

بعضُ الفيروساتِ ذاتِ الـ RNA، وهي المعروفةُ باسمِ **الفيروساتِ الراجعة Retroviruses**، تحتوي على أنزيمٍ يسمّى أنزيمَ النسخِ العكسي، بالإضافةِ إلى RNA. يقومُ **أنزيمُ النسخِ العكسيِّ Reverse transcriptase** باستخدامِ RNA لبناءِ DNA. وقد سُمِّيَ بهذا الاسمِ لأنه يعكسُ العمليَّةَ العاديَّةَ للنسخ، التي يُستخدَمُ فيها الحمضُ DNA كقالبٍ لبناءِ الحمضِ النوويِّ RNA. ويجري دمجُ DNA الفيروسيِّ ضمنَ المادةِ

الوراثيةِ للعائل، فيقومُ الحمضُ النوويُّ DNA بإنتاجِ RNA نسخًا لذاتِه. ثمَّ يترجَمُ الحمضُ RNA إلى بروتيناتٍ تصبحُ جزءًا من فيروساتٍ جديدة.

## الفيرويداتُ والبريونات

الفيرويداتُ والبريوناتُ تفوقُ الفيروساتِ في بساطتِها. وهذانِ الاسمانِ أُطلقا على عناصرَ تتسبَّبُ في أمراض. **الفيرويداتُ Viroids** هي أصغرُ الدقائقِ المعروفةِ القادرةِ على التضاعف. ويتكوَّنُ الفيرويدُ من شريطٍ فرديٍّ من RNA الخالي من أيِّ محفظة، على النحوِ المبيَّن في الشكلِ 5-3. هذه الدقائقُ الصغيرةُ من الحمضِ النوويِّ قادرةٌ على التسبُّبِ في اضطرابٍ في أيضِ الخليَّةِ النباتيَّةِ، وقادرةٌ على إلحاقِ الضررِ بالزراعاتِ ذاتِ الأهميَّةِ الاقتصاديَّةِ من مثلِ البطاطسِ والخيارِ والبرتقال.

**البريوناتُ Prions** أشكالٌ غيرُ طبيعيةٍ من البروتيناتِ تتجمَّعُ وتتكتلُ داخلَ خليَّة، ومن شأنِ هذا النشاطِ التكتُّليِّ أن يؤدّيَ في النهايةِ إلى هلاكِ الخليَّة، ربّما عن طريقِ وقفِ حركةِ تنقُّلِ الجزيئاتِ في الخليَّة. تتواجدُ البريوناتُ عندَ سطوحِ خلايا الحيواناتِ الثديية وفي أدمغةِ الكائناتِ العائلة، وهي مكوَّنةٌ من حواليَّ 250 حمضًا أمينيًّا، وليس لديها أيُّ حمضٍ نوويٍّ مرفقٍ بها.

رُبطت البريوناتُ ببعضِ أمراضِ الدماغِ لدى الإنسانِ والحيوانات، كمرضِ الحُكاك. فالحُكاكُ لدى الأغنامِ مرضٌ يتميَّزُ بانحلالٍ بطيءٍ في الجهازِ العصبيّ. فبينما يحدثُ الانحلالُ في الجهازِ العصبيِّ لدى الحيوانِ المصاب، تظهرُ عنده الأورامُ، فيحكُّ جسدَهُ بسوقِ الشجرِ وبأعمدةِ السياجات.

إنَّ مرضَ جنونِ البقرِ هو مرضٌ دماغيٌّ يميتُ قُطعانَ الماشية، وربّما يكونُ مرتبطًا بالبريونات. أمّا البريون الذي يُعتقَدُ أنَّهُ مسؤولٌ عن التسبُّبِ في مرضِ جنونِ البقر، فيُمكنُ أن يكونَ مشابهًا للبريونِ المتسببِ في مرضٍ يصيبُ دماغَ الإنسانِ ويُعرَفُ بمرضِ كروزفلت جاكوب (CJD).



**الشكل 5-3**
الفيرويداتُ والتي تسبِّبُ أمراضًا لدى نباتاتٍ معيَّنة هي أشرطةٌ من أحماضٍ نوويَّةٍ رايبوزيَّةٍ غيرِ مزوَّدةٍ بمحافظ.

## مراجعةُ القسم 5-1

1. ما المكوِّنانِ الأساسيانِ للفيروس؟
2. ما الإنجازُ الذي حقَّقهُ وندل ستانلي؟
3. وضحْ كيفيَّةَ تصنيفِ الفيروسات.
4. ما الدورُ الذي تقومُ به الأحماضُ النوويَّةُ في تصنيفِ الفيروسات؟
5. ما أوجهُ الشبهِ وأوجهُ الاختلافِ بينَ الفيرويداتِ والبريوناتِ من جهة، والفيروساتِ من جهةٍ أخرى؟
6. **تفكيرٌ ناقد** هل تُعَدُّ الفيروساتُ كائناتٍ حيّةً؟ علِّل إجابتَكَ من خلالِ رجوعِكَ إلى خصائصِ الحياةِ التي وردتْ في الفصلِ 1 من كتابِ الصفِّ العاشر.

القسم

# 2-5

## مؤشراتُ الأداء

▲ يصفُ الفيروسَ لاقمَ البكتيريا.

● يلخّصُ المراحلَ الخمسَ للدورةِ الحالّة.

■ يقارنُ بين الدورةِ الحالةِ والدورةِ الاندماجيةِ عند تضاعفِ الفيروسات.

◆ يميِّزُ بينَ الفيروس لاقم البكتيريا واللاقم الأولي.

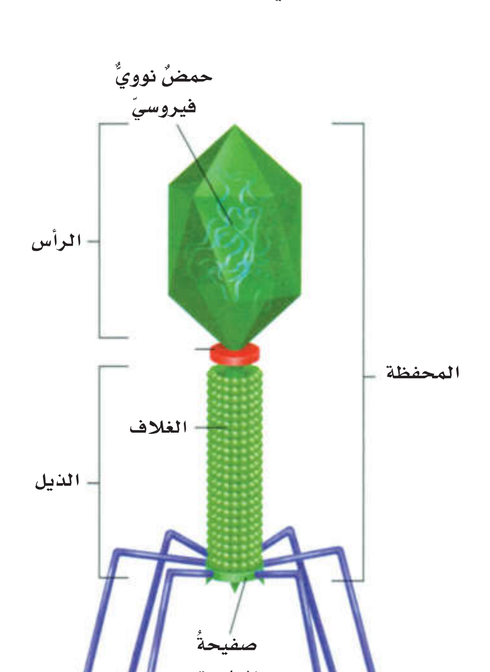
# تضاعُفُ الفيروسات

بما أنَّ الفيروساتِ ليست خلايا، فليسَ باستطاعتِها التضاعُفُ إلاّ إذا غزَتِ الخليةَ العائل، واستخدمتْ أنزيماتِها وعُضيّاتِها بهدفِ صنعِ مزيدٍ من الفيروسات. وبما أنها تعتمدُ على خلايا عائلةٍ كي تتضاعف، فإنها تُسمّى **إجباريةَ التطفلِ داخلَ الخلايا Obligate intracellular parasite.** ويشكّلُ الفيروس، خارجَ الخليَّةِ العائل، دقائقَ غيرَ حيَّةٍ لا تتحكّم بتحرُّكاتِها، بلْ تنتشرُ عن طريقِ الرياحِ والماءِ والغذاءِ أو عبرَ الدمِ أو إفرازاتٍ أخرى للجسم.

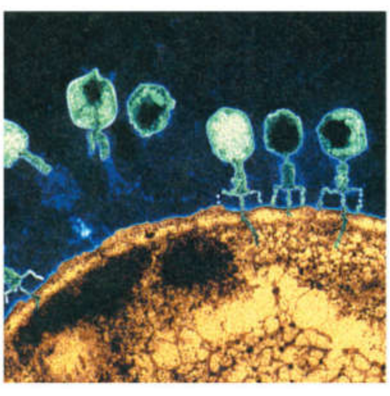
## الفيروسُ لاقمُ البكتيريا

خلالَ خمسينياتِ القرنِ العشرين، اكتسبَ العلماءُ معرفةً أفضلَ حولَ تضاعفِ الفيروسات. وذلك من خلالِ أعمالِهم على **الفيروسات لاقمات البكتيريا Bacteriophages** وهي فيروساتٌ تصيبُ البكتيريا. وتبيَّنَ أنَّ دوراتِ تضاعفِ الفيروساتِ اللاقمةِ للبكتيريا شبيهةٌ بدوراتِ تضاعفِ الفيروساتِ التي تسبِّبُ الرشحَ والحَصْبةَ وفِقْدانَ المناعةِ المكتسب. إنَّ أكثرَ لاقماتِ البكتيريا التي خضعتْ للدراسة، هي التي تصيبُ البكتيريا *Escherichia coli* الموجودةَ في أمعاءِ الإنسان.

تفحَّصْ تركيبَ لاقمِ البكتيريا الظاهرِ في الشكل 5-4. تتألّفُ الفيروساتُ لاقماتُ البكتيريا من رأسٍ عِشرينيِّ السطوح يحتوي على حمضٍ نوويّ. ويوجدُ تحتَ الرأسِ ذيلٌ انقباضيٌّ يساعدُ على حقنِ الحمضِ النوويِّ داخلَ الخليَّةِ العائل، ويستندُ إلى صفيحةِ القاعدةِ التي تبرزُ منها خيوطٌ ذيلية. هذه الخيوطُ تساعدُ الفيروسَ على الالتصاقِ بالخليَّةِ العائل.

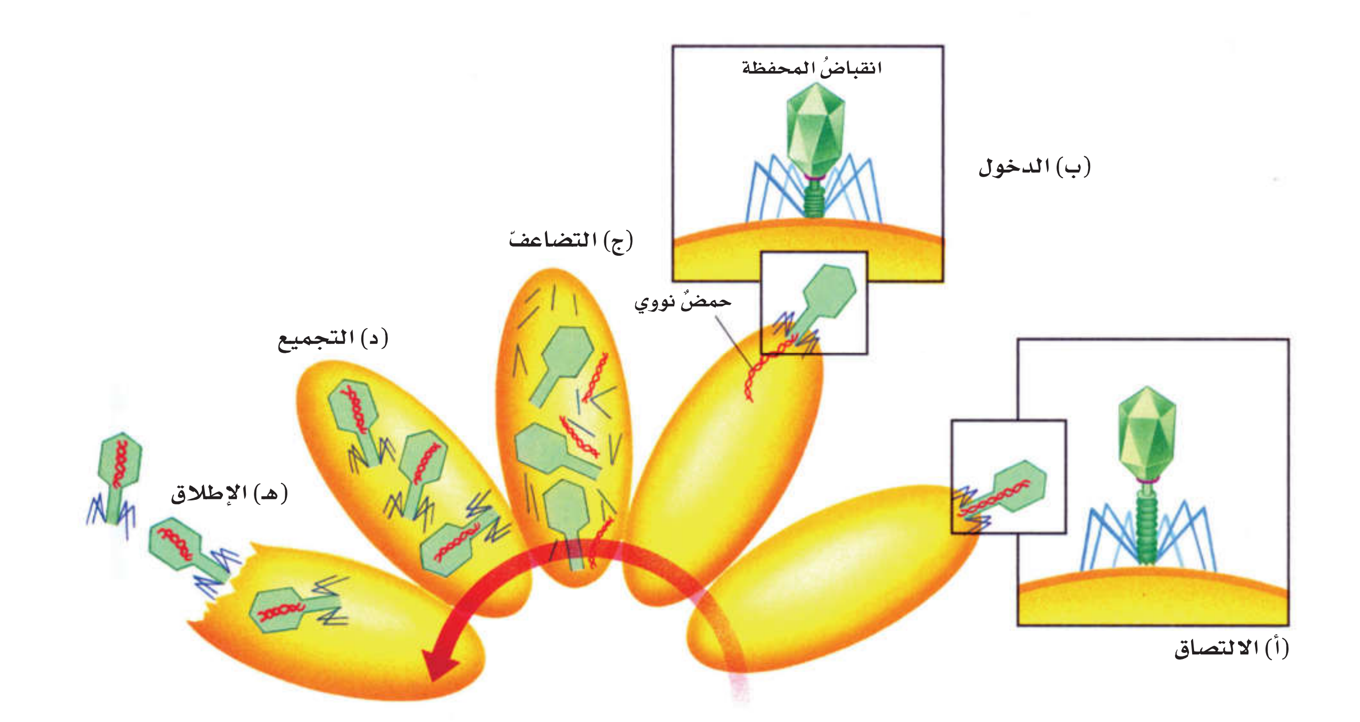



(أ)



(ب)

**الشكل 5-4**
(أ) هذا الرسمُ التخطيطيُّ يُظهرُ التركيبَ المعقَّدَ للفيروس لاقم البكتيريا. (ب) هذه الصورةُ المجهريَّةُ (بالمجهر الإلكتروني الماسح) تبيِّنُ مقطعًا عرضيًّا لخليَّة البكتيريا E.coli يهاجمُها عددٌ منَ الفيروسات لاقمة البكتيريا. يمكنُ رؤيةُ بعض هذه الفيروسات وهي تتكوَّنُ داخلَ سيتوبلازم الخليَّة، كما يمكنُ رؤيةُ بعضها خارجَ الخلية. (138,600 ×)




**الشكل 5-5**
تشتملُ الدورةُ الحالَّةُ للفيروسِ لاقمِ البكتيريا الفتّاك على (أ) التصاقِ الفيروس بخليَّةٍ عائل محتملة (ب) دخولِ الحمضِ النوويِّ الفيروسيِّ DNA إلى الخليَّةِ العائل (ج) تضاعفِ الحمضِ النوويِّ DNA الفيروسي (د) عمليَّةِ تجميعٍ لفيروساتٍ جديدة (هـ) إطلاقِ فيروساتٍ جديدةٍ من خليَّةٍ عائلٍ أصابَها التحلُّل.

## الدورةُ الحالَّةُ

يغزو الفيروسُ الخليةَ العائلَ خلالَ **الدورةِ الحالَّة Lytic cycle**، فيُنتِجُ فيروساتٍ جديدة، ثمَّ يُطلِقُها ويفتكُ بالخليَّةِ العائل. إنَّ الفيروساتِ التي تحقِّقُ الدورةَ الحالَّةَ تُسمّى فيروساتٍ **فتّاكة Virulent**، لكونِها تتسبَّبُ في الأمراض. تتألّفُ الدورةُ الحالَّةُ من خمسِ مراحل، كما في الشكل 5-5.

يلتصقُ الفيروسُ لاقمُ البكتيريا أولَ ما يلتصقُ ببكتيريا مستهدَفة، عن طريقِ ربطِ خيوطِ ذيلِهِ بموقعٍ مُستقبِل، كما في الشكل 5-5 أ. و**المواقعُ المستقبلةُ Receptor sites** هي مواقعُ محدَّدةٌ تتعرَّفُها الفيروساتُ، فتلتصقُ بسطحِ الخليَّةِ العائل. فإذا لم يجدِ الفيروسُ لاقمُ البكتيريا موقعًا مستقبلاً فإنهُ لا يستطيعُ إصابةَ الخليَّة.

بعدَ ذلك يطلقُ الفيروسُ لاقمُ البكتيريا أنزيمًا يُضعِفُ مكانًا معيَّنًا في جدارِ الخليةِ العائل، على نحوِ ما هو مبيَّنٌ في الشكل 5-5 ب، ثم يَضغطُ بغلافِهِ على الخليَّةِ العائل ويحقنُ حمضَهُ النوويَّ DNA داخلَها عبرَ المكانِ الضعيفِ في الجدارِ الخلوي، ويتركُ المِحفظةَ خارجَ الخليَّةِ العائل.

وفي المرحلةِ الثالثةِ يسيطرُ الفيروس على آليّاتِ بناءِ البروتين العائدةِ للخليَّةِ العائل على نحوِ ما يبيِّنُهُ الشكل 5-5 ج، فيُسخِّرُ الحمضُ النوويُّ الفيروسيُّ نشاطاتِ الخليةِ لإنتاجِ أحماضٍ نوويةٍ فيروسيةٍ ومَحافظَ بروتينيةٍ وأنزيماتٍ فيروسية.

ثمَّ تُحفظُ الأحماضُ النوويةُ الفيروسيَّةُ المتضاعفةُ داخلَ المحافظَ الفيروسيَّةِ المكوَّنةِ حديثًا، كما في الشكل 5-5 د.

وفي المرحلةِ الأخيرةِ من الدورةِ الحالَّة يتسبَّبُ أحدُ الأنزيماتِ التي جرى إنتاجُها في تحلُّلِ الخليَّةِ العائلِ، مما يحرِّرُ ويطلِقُ فيروساتٍ لاقمةً للبكتيريا جديدة. يُسمّى تحلُّلُ الخليَّةِ، المبيَّنُ في الشكل 5-5 هـ، **التحلُّل Lysis**. في الفيروساتِ ذاتِ الغلافِ تَنتَقِلُ الفيروساتُ المنتَجةُ حديثًا إلى سطحِ الخليَّةِ، وتشقُّ طريقَها عبرَ الغشاءِ الخلويّ. ونتيجةً لذلك يغادرُ الفيروسُ الخليَّةَ بحيثُ تلتصقُ قطعةٌ من غشاءِ الخليَّةِ العائلِ بالمِحفظة. هذا الجزءُ المستعارُ منَ الغشاءِ الخلويِّ يصبحُ غلافًا للفيروس.

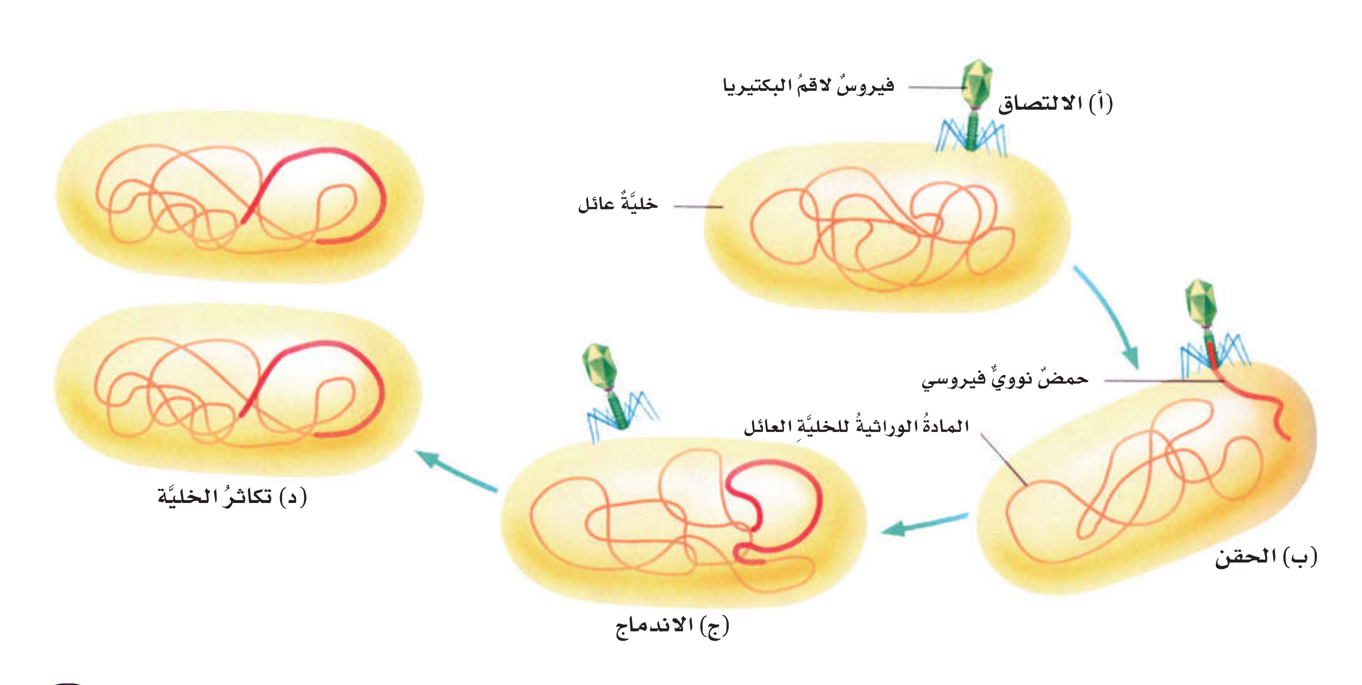
## الدورةُ الاندماجية

يمكنُ لبعضِ الفيروساتِ أن تصيبَ خليَّةً معينةً دونَ التسبُّبِ في تدميرِها الفوري. وهذهِ الفيروساتُ التي تظلُّ متواجدةً داخلَ الخلايا العائلة، لمدةِ أيامٍ أو أشهرٍ أو سنوات، تكونُ في **الدورةِ الاندماجية Lysogenic cycle**. والفيروسُ الذي يتضاعفُ في أثناءِ الدورةِ الاندماجيةِ ولا يَقتلُ الخليَّةَ العائلَ بصورةٍ فوريَّةٍ يُسمّى **الفيروسَ المعتدل Temperate virus**.

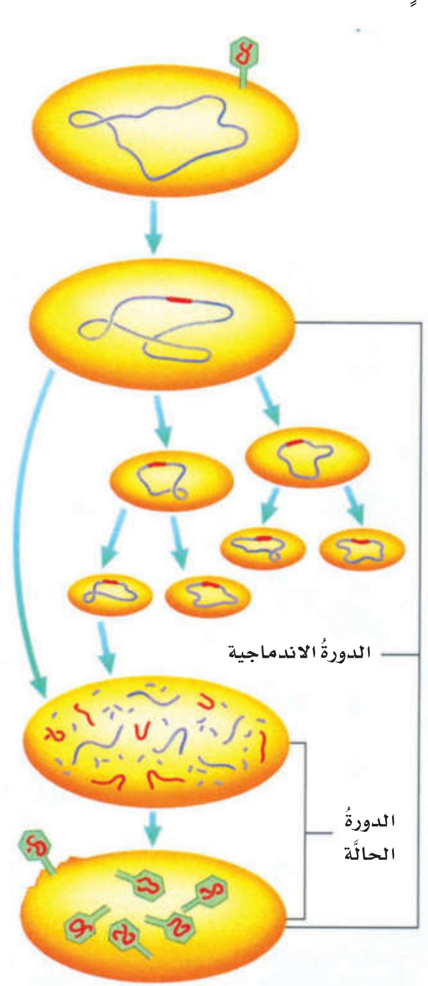
### الدورةُ الاندماجيةُ لدى الفيروساتِ لاقمةِ البكتيريا

تقومُ الفيروساتُ المعتدلة، لاقمةُ البكتيريا، بدخولِ البكتيريا بالطريقةِ نفسِها التي يتّبعُها الفيروسُ الفتّاكُ لاقمُ البكتيريا على نحوِ ما يبيِّنُهُ الشكلان 5-6 أ و 5-6 ب. تلتصقُ الخيوطُ الذيليةُ للفيروسِ المعتدلِ لاقمِ البكتيريا بموقعٍ مُستقبِلٍ محدَّدٍ عندَ جدارِ الخليَّةِ البكتيريَّة. ثمَّ يقومُ الفيروسُ لاقمُ البكتيريا بحقنِ DNA داخلَ الخليَّةِ العائل. وبدلاً من تكوينِ RNA وبروتيناتٍ فيروسيَّةٍ جديدةٍ بصورةٍ فوريَّة، يقومُ

**الشكل 5-6**
تشتملُ الدورةُ الاندماجيةُ لفيروسٍ لاقمٍ بكتيريا معتدلٍ على (أ) التصاقِ الفيروسِ بالخليَّةِ العائل (ب) حقنِ DNA الفيروسيِّ (ج) اندماجِ DNA الفيروسيِّ في المادةِ الوراثيةِ للعائلِ (د) تكاثرِ الخليةِ العائلِ و DNA الفيروسيِّ.



DNA الفيروسيُّ بالاندماجِ بـ DNA للخليَّةِ العائل، على النحوِ المبيَّنِ في الشكلِ 5-6 ج. إنَّ جزيءَ الحمضِ النوويِّ للفيروسِ لاقمِ البكتيريا الذي يندمجُ في موقعٍ محدَّدٍ من المادةِ الوراثيةِ للخليَّةِ العائلِ يسمّى **اللاقمَ الأولي Prophage**. ويتضاعفُ كلّما تكاثرتِ البكتيريا العائلةُ، على النحوِ الظاهرِ في الشكل 5-6 د. لا يُلحِقُ الفيروسُ اللاقمُ الأوليُّ أيَّ ضررٍ بالخليَّةِ العائلِ خلالَ الدورةِ الاندماجية، إلاّ أنَّ بعضَ الإشعاعاتِ أو بعضَ الموادِّ الكيميائيَّةِ المحدَّدةِ قد تجعلُ الفيروسَ اللاقمَ الأوليَّ يتحوَّلُ إلى فيروسٍ فتّاك. الشكل 5-7.




**الشكل 5-7**
في الدورةِ الاندماجية، يدخلُ الفيروسُ لاقمُ البكتيريا إلى خليَّةٍ ويظلُّ ساكنًا غيرَ ناشطٍ في المادةِ الوراثيةِ لهذا العائلِ إلى أن يؤدي محفِّزٌ خارجيٌّ إلى جعلِ الفيروسِ يدخلُ الدورةَ الحالَّة.

## مراجعةُ القسم 5-2

1. وضحْ أنشطةَ الفيروسِ خلالَ الدورةِ الحالَّة.
2. قارن بينَ الدورةِ الحالَّةِ والدورةِ الاندماجية.
3. صفْ تركيبَ الفيروسِ لاقمِ البكتيريا.
4. ما الذي يجعلُ الفيروسَ المعتدلَ لاقمَ البكتيريا يتحوَّلُ إلى فيروسٍ فتّاك؟
5. لماذا تستطيعُ الفيروساتُ أن تصيبَ أصنافًا قليلةً فقط من الخلايا؟
6. **تفكيرٌ ناقد** خلالَ الدورةِ الحالَّةِ يمكنُ، في بعضِ الأحيانِ، أن تتمَّ عمليَّةُ تجميعِ فيروساتٍ جديدةٍ في نواةِ خليَّةٍ عائل. لماذا لا تحدثُ بالنسبةِ للفيروساتِ لاقمةِ البكتيريا عمليَّةُ التجميعِ في نواةِ خليَّةٍ عائلٍ ؟

القسم

# 3-5

## مؤشراتُ الأداء

▲ يسمّي أربعةَ أمراضٍ فيروسيَّةٍ تسبِّبُ أخطارًا كبيرةً لدى الإنسان.

● يقارنُ نوعينِ منَ اللَّقاحِ الفيروسيّ.

■ يناقشُ أشكالاً أخرى من الوقايةِ ضدَّ الأمراضِ الفيروسيَّة.

◆ يوضحُ العلاقةَ بينَ الفيروساتِ ومرضِ السرطان.

# الأمراضُ الفيروسيةُ في جسمِ الإنسان

الأمراضُ الفيروسيَّةُ هي من أكثرِ الأمراضِ انتشارًا لدى الإنسان. تراوحُ هذه الأمراضُ بينَ أنواعِ الحمّى الحقيقيَّةِ وبعضِ أشكالِ مرضِ السرطان. وتشتملُ على أمراضٍ أخرى خطيرةٍ ومميتة. ويختلفُ نمطُ انتقالِ هذه الأمراض. فبعضُها ينتقلُ إلى الإنسانِ عن طريقِ الملامسة. بينما تنتقلُ أمراضٌ أخرى عن طريقِ الماءِ أو لسعةِ حشرة.

## الأمراضُ الفيروسية

تنتجُ أمراضٌ عديدةٌ خطيرةٌ من الفيروساتِ التي تستخدمُ الإنسانَ كعائلٍ طبيعيٍّ لها. من الأمراضِ الفيروسيَّةِ الأكثرِ شيوعًا لدى الإنسانِ الرشحُ العادي، وجُدَريُّ الماء، والحَصْبة، والنُّكاف (الخازباز)، وشللُ الأطفال، وداءُ الكَلَب، والتهابُ الكبد. يمكنُ للأمراضِ الفيروسيَّةِ أن تصيبَ أعضاءً مختلفةً من جسمِ الإنسان، من ضمنِها الدماغُ والكبدُ والقلبُ والرئتانِ والجلد.

ينتقلُ داءُ الكَلَب عبرَ عَضّةٍ من حيوانٍ مصابٍ يحملُ الفيروسَ في لُعابِه. وعندما يصابُ الإنسانُ ينتقلُ الفيروسُ منَ الجرحِ إلى الجهازِ العصبيِّ المركزي. تشتملُ عوارضُ داءِ الكَلَب على الحمّى، والصداع، وتقلُّصاتٍ في الحلق، والشلل، فقدانِ الوعي. إنَّ داءَ الكَلَبِ مميتٌ إلى درجةِ أنَّ قلّةً من الناسِ بقيتْ على قيدِ الحياةِ بعدَ معاناتِها من آثارِه.

وجُدَريُّ الماءِ مرضٌ فيروسيٌّ مُعدٍ سريعُ الانتشار. يتكاثرُ فيروسُ الجُدَريِّ في الرئتين، ويستخدمُ شبكةَ الأوعيةِ الدمويةِ لبلوغِ الجلد. تشتملُ الأعراضُ على الحمّى والطفحِ الجِلْديّ. يحدثُ انتقالُ المرضِ عبرَ الملامسةِ المباشرةِ لدى حدوثِ الطفحِ الجلديِّ الذي هو مصدرٌ لفيروساتٍ تتسبَّبُ في الإصابة، وكذلك عبرَ الهواء. ولحسنِ الحظ، يكونُ المرضُ خفيفًا، ويتمُّ الشفاءُ منهُ بصورةٍ عامة، كما تنشأُ ضدَّه لدى الجسمِ مقاومةٌ تدومُ مدى العمر. أما إذا لم تدمّرْ جميعُ فيروساتِ جُدَرِيِّ الماء، فإنها تظلُّ موجودةً في الخلايا العصبيّةِ على صورةِ فيروسٍ أولي، فتتسبَّبُ في مرضٍ يظهرُ لاحقًا لدى الراشدينَ يدعى القوباءَ المِنطَقيّة، الشكل 5-8.

**الشكل 5-8**
**يحدثُ عادةً طفحُ القوباءِ المِنطَقيَّة، المبيَّنُ هنا، في جزءٍ واحدٍ فقط منَ الجسمِ.**



## الوقايةُ والعلاج

يتمُّ التحكُّمُ بالأمراضِ الفيروسيَّةِ بطريقتين: التلقيحُ للوقايةِ من المرض، واستعمالُ **أدويةٍ مضادةٍ للفيروس Antiviral drugs**، وهي أدويةٌ تتدخلُ وتعترضُ بناءَ الحمضِ النوويِّ الفيروسيّ للمرضى المصابين بالفيروس. لا يوجدُ إلا القليلُ جدًّا من

الأدويةِ المضادةِ للفيروس، مقارنةً بالأدويةِ المستخدمةِ في معالجةِ الإصاباتِ بالبكتيريا والفطرياتِ والطفيليّات. والأسلوبُ الأكثرُ نجاحًا في التحكُّمِ بالأمراضِ الفيروسيّة هو الوقايةُ عن طريقِ التلقيح. وتُعنى مراكزُ مراقبةِ الأمراضِ والوقايةِ منها بأعمالِ المراقبةِ والوقايةِ من خلالِ القيامِ بأبحاث، على النحوِ المبيَّنِ في الشكل 5-9.



**الشكل 5-9**
يعملُ هذا التقنيُّ في مركزٍ يتصفُ بإجراءاتِ الأمانِ لوقايةِ نفسه من الفيروساتِ الأكثرِ فتكًا في العالم، كفيروس إيبولا.

## أنواعُ اللَّقاحِ ضدَّ الفيروسات

اللَّقاحُ هُوَ عبارة عن سائل يحتوي على نوع غير ضار من الفيروسات أو تحضيرٌ لموادَّ أخرى تنشِّطُ جهازَ المناعةِ في الجسمِ لتوفيرِ الوقايةِ من هذا العنصرِ المسبِّبِ للمرض. تتكوَّنُ بعضُ اللَّقاحاتِ من فيروساتٍ غيرِ نشطةٍ أو مما جرى إضعافُها. الفيروساتُ **غيرُ النشطة Inactivated**، لا تتضاعفُ في جهازِ العائل. أما الفيروساتُ التي **جرى إضعافُها Attenuated** فهي فيروساتٌ خضعتْ لعمليّةِ تعديلٍ وراثيٍّ، بحيثُ لم تعدْ قادرةً على التسبُّبِ في مرضٍ ضمنَ الظروفِ العادية. وعلى العموم، اللّقاحاتُ المصنوعةُ منَ الفيروساتِ التي جرى إضعافُها هي المفضَّلةُ على تلك المصنوعةِ من الفيروساتِ التي أُوقفَ نشاطُها، لأن الوقايةَ أقوى وأطولُ مدّة. إنَّ الجرعاتِ الإضافيّةَ، لبعضِ اللَّقاحاتِ تسمّى جرعاتٍ تعزيزيّة Booster shots، وقد تطولُ مدةُ الوقايةِ لشخصٍ ما ضدَّ بعضِ الفيروسات.

في حدود الستينياتِ من القرنِ العشرين جرى صنعُ لَقاحاتٍ ضدَّ أمراضِ الحَصْبَةِ والنُّكافِ والحَصْبَةِ الألمانية. أصبحَ اللَّقاحُ ضدَّ التهابِ الكبد B متوفّرًا في ثمانينيّاتِ القرنِ العشرين، كما تمَّ صنعُ اللَّقاحاتِ ضدَّ مرضِ جُدَريِّ الماءِ والتهابِ الكبد A في تسعيناتِ القرنِ نفسِه. ويواصلُ العلماءُ عملَهم لصنعِ لَقاحٍ ضدَّ مرضِ الإيدز، إلاّ أنَّ التنوعَ الوراثيَّ لدى الفيروس وقدرتَهُ على التطفرِ خلّفا مشكلةً تعترضُ صنعَ اللّقاح، إلا أن تربيةَ الإنسانِ وتثقيفَهُ بالنسبةِ لفيروس HIV، وكيفيَّةِ انتقالِه، من شأنِهما أن يَحُدّا من انتشارِ مرضِ الإيدز.

## جذرُ الكلمةِ وأصلُها

**اللّقاح**
**vaccine**
منَ اللاتينيّة vaccinus، ومعناها ما «يتعلّق بالبقر»

## الفيروساتُ والمضاداتُ الحيوية

إن المضاداتِ الحيويةَ غيرُ فاعلةٍ في مجالِ المعالجةِ ضدَّ الأمراضِ الفيروسية، إنما تُستخدَمُ بصورةٍ خاصةٍ في مهاجمةِ آليةِ الأيضِ لدى خلايا البكتريا. وبما أنَّ الفيروساتِ تَستخدِمُ حصرًا آليةَ أيضِ الخليةِ العائل، فلا نفع من استخدامِ المضاداتِ الحيويةِ في عمليّةِ تدميرِها.

وقد تبينَ أن دمجَ أدويةٍ تعترضُ عملية بناءِ الحمضِ النوويِّ للفيروس وعمليةَ بناءِ بروتيناتِ المحفظةِ يساعدُ على إبطاءِ تفاقمِ الإصابةِ بفيروسٍ من مثل HIV انظرِ الشكل 5-10.



**الشكل 5-10**
هذا الطبيبُ يعطي مريضًا مصابًا بالإيدز دواءين مختلفين مضادّين للفيروس. فبحكمِ قدرةِ فيروس HIV على التكيُّفِ السريعِ مع الأدويةِ المضادةِ للفيروس، يغلب أن يكون ضروريًا إعطاءُ المريضِ أكثرَ من دواءٍ واحدٍ دفعةً واحدةً، وذلك لخفضِ كميَّةِ الفيروس لدى المريض.

## الفيروساتُ الناشئة

فيما يعملُ الباحثون في مجالِ الطبِّ على إيجادِ العلاجاتِ للأمراضِ الفيروسيةِ الناشئةِ الحالية، تبرزُ فيروساتٌ مكتشفةٌ حديثًا، في أجزاءٍ مختلفةٍ من العالم. الفيروساتُ الناشئةُ هي فيروساتٌ تتواجدُ في مواطنَ معزولة، وتصيبُ الإنسانَ عندما يجري تطويرُ هذهِ المواطنِ وتنميتُها. فمثلاً يبيِّنُ الشكل 5-11 غابةً مطيرةً في جمهوريةِ الكونغو الديمقراطية، حيثُ يتواجدُ فيروسُ الإيبولا الناشئ. عندما يجري قطعُ هذهِ الغابات، يمكنُ أن يتعرضَ الإنسانُ للالتقاءِ بالحيواناتِ المصابةِ بفيروس الإيبولا. إذا كان في استطاعةِ الفيروساتِ الناشئةِ أن تصيبَ الإنسان، فإن انتشارَها يصبحُ ممكنًا. ويمكنُ أن يترتبَ على ذلك عواقبُ وخيمةٌ وقاتلة. وهناكَ أربعةُ أنواعٍ معروفةٍ من فيروسِ الإيبولا، واحدٌ منها يصيبُ القرودَ فتمرض، والأنواعُ الثلاثةُ الأخرى مميتةٌ بالنسبةِ للإنسان. إنَّ النشوءَ الفجائيَّ لفيروسِ الإيبولا في الجماعةِ الأحيائيّةِ للإنسان، في جمهوريةِ الكونغو الديمقراطية، جعلَ الباحثينَ في الحقلِ الطبي يحارونَ في هويةِ الحيوانِ العائلِ الذي نقلَ النوعَ الأصليَّ لفيروسِ الإيبولا.

تشتملُ أمثلةُ الفيروساتِ الناشئةِ على: هانتا فيروس Hantavirus الذي تسببَ في انتشارِ داءِ ذاتِ الرئةِ في جنوبِ الولاياتِ المتحدةِ عام 1993، وهو مرضٌ انطلقَ من إفريقية، وفيروس حمّى Lassa الذي يتواجدُ في إفريقية الشرقية.



**الشكل 5-11**
إنَّ الغاباتِ الاستوائيَّةَ النائيةَ في جمهوريةِ الكونغو الديمقراطيةِ هي الأمكنةُ التي يختبئُ فيها فيروسُ إيبولا القاتل.

## الفيروساتُ ومرضُ السرطان

تذكّرْ أنَّ السرطانَ حالٌ تنتُجُ عن التكاثرِ الخلويِّ الذي يخرجُ عن السيطرةِ ويجتاحُ النسيجَ المحيطَ به. ويعتقدُ العلماءُ أنَّه يمكنُ تعقُّبُ الأمراضِ السرطانيّةِ حتى بلوغِها الجينات ضمنَ الخلايا الطبيعيّة. عندما تحدثُ طفرةٌ في تلكَ الجينات، تحت تأثيرِ عناصرَ خارجيةٍ، كدخانِ السجائر، أو التعرض لغبارِ الإسبست، أو ضوءِ الشمس، أو الموادِّ الكيميائيّةِ أو الإشعاعات، فإنَّ هذه العناصرَ قد تنشّطُ الخلايا فتنقسمُ وتتكاثرُ بشكلٍ يخرجُ عن السيطرة. ويمكنُ كذلكَ للجيناتِ السرطانيّةِ أن تَنْشَطَ بسببِ بعض الفيروساتِ الاندماجية. وقد جرى اختصارُ بعضِ الفيروساتِ التي ترافقُها الأمراضُ السرطانيّة، كما في الجدول 5-2.

**الجدولُ 5-2** فيروسان لهما صلةٌ بأمراضِ السرطانِ لدى الإنسان

| نوعُ الفيروس | نمطُ الانتقال | نوعُ السرطان |
|---|---|---|
| خليّةٌ لمفيّة T، لدى الإنسان | الانتقالُ من الأمِّ إلى الطفل، سوائلُ الجسم، الاتصالُ الجنسي | سرطانُ الدم |
| التهابُ الكبد B | سوائلُ الجسم، الاتصالُ الجنسي، الانتقالُ من الأمِّ إلى الطفل | سرطانُ الكبد |

### مراجعةُ القسم 5-3

1. اذكر مرضين ينجمانِ عن هجومٍ فيروسيٍّ على الجهازِ العصبيِّ لدى الإنسان.
2. وضحْ أوجهَ الاختلافِ بينَ الفيروساتِ التي يتمُّ إضعافُها والفيروساتِ التي يجري وقفُ نشاطِها.
3. ما السببُ في عدمِ فعاليّةِ المضاداتِ الحيويّةِ في معالجةِ الأمراضِ الفيروسيّة؟
4. وضحْ كيف ساهمت أعمالُ الإنسانِ في تزايدِ الأمراضِ الناجمةِ عن فيروساتٍ ناشئة.
5. في أيِّ دورةِ تضاعفٍ نجدُ الفيروساتِ تُحفّزُ عمليّةَ تنشيطِ جيناتِ الأمراضِ الوراثيّة؟
6. **تفكيرٌ ناقد** هل تُعَدُّ الفيروساتُ الناشئةُ فيروساتٍ جديدة؟ علّلْ رأيَك؟

# مراجعةُ الفصل 5

## ملخّصُ / مفردات

**1-5**

- الفيروساتُ دقائقُ أحيائيةٌ مُكوَّنةٌ من حمض نوويٍّ ومن غلافٍ بروتيني. الفيروساتُ المغلَّفةُ مزودةٌ أيضًا بغشاءٍ يحيطُ بها.
- لا تُعَدُّ الفيروساتُ كائناتٍ حية، لأنها تفتقرُ إلى معظمِ ميزاتِ الكائناتِ الحية.
- كانَ وندل ستانلي أولَ عالمٍ يفيدُ عن تحقيقِ تبلورِ فيروس تبرقُشِ التبغ، في العام 1935. كان ذلك بمثابةِ إيحاءٍ بأن الفيروساتِ قد تكونُ موادَّ كيميائيةً أكثرَ منها خلايا بدائية.
- تُراوحُ اقطارُ الفيروساتِ ما بين 20 nm و 250 nm.
- الكثيرُ من الفيروساتِ عِشرينيُّ السطوح، وهو شكلٌ هندسيٌّ يتصفُ بعشرينَ وجهًا من الأوجهِ المثلثةِ الأضلع. وهناك فيروساتٌ أخرى ذاتُ شكلٍ حلزوني، أي إنها تشبهُ سلكًا ملتفًّا على ذاتِه.
- بعضُ الفيروساتِ لهُ غلافٌ يشبهُ الغِشاء، تبرزُ منه نتؤاتٍ من البروتينِ السكري.
- تُصنَّفُ الفيروساتُ في مجموعاتٍ استنادًا إلى نوعِ حمضِها النووي، وتركيبِ محفظتِها، ووجودِ الغلافِ أو عدمِه.
- الفيرويداتُ دقائقُ شبيهةٌ بالفيروسات، إلا أنها مكوَّنةٌ من حمضٍ نوويٍّ رايبوزيٍّ. البريوناتُ دقائقُ تتسببُ في أمراض وهي مؤلفةٌ من البروتين.

### مفردات

أنزيمُ النسخِ العكسي (61) Reverse transcriptase
البروتينُ السكري (61) Glycoprotein
البريون (62) Prion
الحلزونيّ (61) Helix
عِشرينيُّ السطوح (61) Icosahedron
علمُ الفيروسات (59) Virology
الغلاف (60) Envelope
الفيروس (59) Virus
فيروسُ فقدانِ المناعة لدى الإنسان (60) HIV
الفيروسُ الراجع (61) Retrovirus
الفيرويد (62) Viroid
المحفظة (60) Capsid

**2-5**

- الفيروساتُ لاقمةُ البكتيريا فيروساتٌ تصيبُ البكتيريا، وقد أدى اكتشافُها إلى زيادةِ علمِ العلماءِ في عمليةِ تضاعفِ الفيروسات.
- التضاعفُ لدى الفيروساتِ يتمُّ في أثناءِ الدورةِ الحالَّةِ أو في أثناءِ الدورةِ الاندماجية.
- يتمُّ إطلاقُ المادةِ الوراثيةِ الفيروسيةِ في أثناءِ الدورةِ الحالَّةِ داخلَ الخليةِ العائل، ويلي ذلك مباشرةً تضاعفُ الفيروس. تُستخدمُ المكوناتُ الخلويةُ في بناءِ فيروساتٍ جديدة. بعدها يتسببُ الأنزيمُ الفيروسيُّ في تحللِ الخليةِ العائلِ وموتِها.
- في الدورةِ الاندماجية، يصبحُ الحمضُ النوويُّ الفيروسيُّ جزءًا من كروموسومِ الخليةِ العائل، ويظلُّ داخلَ الخليةِ على هذه الصورةِ على مدى أجيالٍ عدة. ومرضُ فِقدانِ المناعة لدى الإنسان يتبعُ النمطَ نفسَه.

### مفردات

إجباريُّ التطفل داخلَ الخلية (63) Obligate intracellular parasite
التحلُّل (65) Lysis
الدورةُ الاندماجية (65) Lysogenic cycle
الدورةُ الحالّة (64) Lytic cycle
الفتّاك (64) Virulent
الفيروسُ المعتدل (65) Temperate virus
اللاقمُ الأولي (66) Prophage
لاقمُ البكتيريا (63) Bacteriophage
الموقعُ المستقبل (64) Receptor site

**3-5**

- إن العلاجَ بواسطةِ اللّقاحِ والعلاجَ بواسطةِ الدواءِ المضادِّ للفيروساتِ يشكلانِ طريقتينِ رئيستينِ للتحكمِ بانتشارِ الأمراضِ الفيروسيةِ والوقايةِ منها.
- الفيروساتُ الناشئةُ عادةً لا تصيبُ الإنسان، إنما يمكنُها ذلك عندما تتواجدُ ظروفٌ محيطةٌ مؤاتيةٌ لاحتكاكِها بالجماعاتِ الأحيائيةِ للإنسانِ وإصابتِها بأمراضٍ فيروسية.
- العديدُ من الفيروساتِ يتسببُ في نشوءِ أمراضٍ سرطانية كسرطانِ الدمِ، وسرطانِ الكبد.

### مفردات

غيرُ النشط (68) Inactivated
الدواءُ المضادُ للفيروس (67) Antiviral drug
جرى إضعافُه (68) Attenuated

# مراجعة

## مفردات

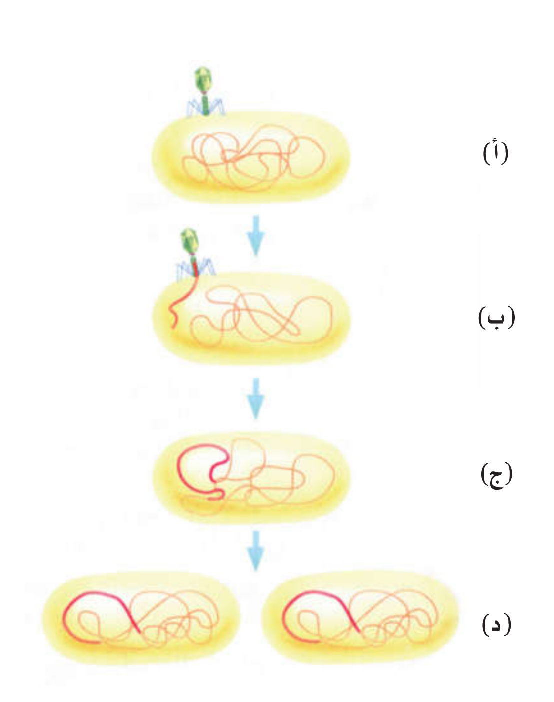
1. تكونُ الإصابةُ بالفيروس، عادةً، إصابةً محدّدةً ونوعيّة. عرِّفْ تركيبَ السطحِ الخلويِّ الذي يسمحُ لفيروساتٍ محدّدةٍ فقط بأن تصيبَه.
2. ميِّز بينَ الفيروسِ واللاقمِ الأوليّ.
3. ما المقصودُ بالمصطلح «أنزيم النسخِ العكسي»؟

## اختيارٌ من مُتعدِّد

4. الفيروسُ دقيقةٌ ناشطةٌ أحيانًا، وهي تتألّفُ من (أ) أنزيماتٍ ودهون (ب) ميتوكوندريا وليسوسومات (ج) بروتينٍ وحمضٍ نووي (د) كربوهيدراتٍ و ATP.
5. أيٌّ ممّا يلي كانَ حدثًا رئيسًا في نشوءِ علمِ الفيروسات؟ (أ) اكتشافُ الرايبوسومات (ب) اكتشافُ تركيبِ الأجارِ المغذّي (ج) تحضيرُ بلّوراتٍ فيروسية (د) اكتشافُ تركيبِ البروتين.
6. لدى بعضِ الفيروساتِ أنزيمٌ للنسخِ العكسي. وهوَ أنزيمٌ (أ) يقومُ ببناءِ RNA باستخدامِ DNA كقالب (ب) يدمجُ DNA الفيروسيَّ بالحمضِ DNA للعائل (ج) يقومُ ببناءِ DNA باستخدامِ RNA كقالب (د) يساعدُ على إطلاقِ الفيروساتِ منَ الخليَّةِ العائل.
7. إحدى السماتِ الأساسيةِ للتضاعفِ الفيروسيِّ هي (أ) إطلاقُ الحمضِ النوويِّ الفيروسيِّ في سيتوبلازمِ الخليَّةِ العائل (ب) دخولُ الغلافِ الفيروسيِّ إلى سيتوبلازمِ الخليَّةِ العائل (ج) اتّحادُ الغلافِ الفيروسيِّ بالغشاءِ النوويِّ العائدِ للخليّة (د) إطلاقُ المحفظةِ الفيروسيةِ داخلَ نواةِ الخليّةِ العائل.
8. تختلفُ الفيرويداتُ عن الفيروساتِ من حيثُ (أ) حجمُها الأكبر (ب) افتقارُها إلى محفظة (ج) افتقارُها إلى الأحماضِ النووية (د) قدرتُها على التسبُّبِ في أمراضٍ لدى النباتات.
9. تُستخدَمُ منطقةُ الرأسِ لدى الفيروسِ لاقمِ البكتيريا في (أ) إلصاقِ اللاقمِ بجدارِ البكتيريا (ب) احتجازِ الحمضِ النوويِّ داخلَها (ج) نقلِ الحمضِ النوويِّ إلى البكتيريا (د) الاستيلاءِ على الآليَّةِ الوراثيَّةِ للخليّة.
10. نعني بالتحلُّلِ عمليّةَ تفكيكِ (أ) محفظةِ الفيروسِ لاقمِ البكتيريا لدى دخولِه إلى الخليّة (ب) الحمضِ DNA الخاصِّ بالخليّةِ العائل (ج) أنزيمِ الفيروسِ لاقمِ البكتيريا (د) الخليّةِ العائل.
11. الفيروساتُ المعتدلةُ هي الفيروساتُ التي (أ) تستولي على الآليّةِ الوراثيّةِ للخليّةِ العائل (ب) تتألّفُ من البروتين (ج) تلتصقُ بالرايبوسوماتِ الخاصةِ بالخليّةِ العائل (د) تَدمجُ جيناتِها الفيروسيّةَ بالحمضِ النووي DNA الخاصِّ بالخليّةِ العائل.
12. إنَّ الفيروسَ الذي يساهمُ في الدورةِ الاندماجيةِ هو (أ) فيروسُ الحَصْبة (ب) فيروسُ داءِ الكَلَب (ج) فيروسُ فِقدانِ المناعةِ لدى الإنسان (د) فيروسُ شللِ الأطفال.

## إجابةٌ قصيرة

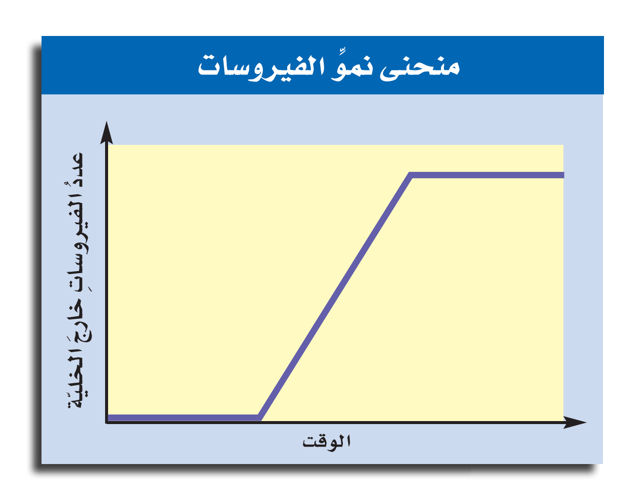
13. وضِّحْ نشاطَ أنزيمِ النسخِ العكسي.
14. صفْ تركيبَ الفيروس HIV، فيروسِ فِقْدانِ المناعةِ لدى الإنسان.
15. يختلفُ الفيروس ذو DNA عن الفيروسِ ذي RNA من حيثُ استخدامُهُ آليّةَ الخليّةِ العائلِ في إنتاجِ الفيروساتِ الجديدةِ. اشرحْ أوجهَ الاختلافِ هذه.
16. سمِّ أمراضَ الحيوانِ الناتجةَ عن نشاطِ البريون.
17. وضِّحْ الخطواتِ المشارَ إليها بأحرفٍ في الشكلِ التالي، وبيِّن اسمَ الدورة.



18. اذكرْ بعضَ المزايا المفيدةَ لدى الفيروسات.
19. ميِّزْ بينَ الفيروسِ الفتّاكِ والفيروسِ المعتدل.
20. وضِّحِ الطرقَ التي يستخدمُها الإنسانُ للتحكُّمِ بالأمراضِ الفيروسيّة.

## تفكيرٌ ناقد

1. يمكنُ للأفرادِ الذين سبقَ أن أُصيبوا بفيروسِ التهابِ الكبدِ B، أن يصابوا أكثرَ من سواهم بسرطانِ الكبدِ في مرحلةٍ لاحقةٍ من حياتِهم، خاصةً إذا ما تعرّضوا للمادَّة أفلاتوكسين Aflatoxin. وهي مادَّةٌ سامَّةٌ توجدُ في العفن، وفي بعضِ الأطعمةِ كالفستقِ الملوّث. بماذا توحي إليكَ هذه العلاقةُ بين دورِ فيروسِ التهابِ الكبد والتسبُّبِ في مرضِ السرطان؟
2. اللمبدا Lambda فيروسٌ لاقمُ بكتريا، يهاجمُ البكتيريا *E. coli*، ويمكنُهُ دخولَ الدورةِ الاندماجية. حالما يدخلُ اللاقمُ الدورةَ الاندماجية يمنعُ دخولَ المزيدِ من الفيروساتِ اللاقمة. ما الميزةُ التطوريَّةُ المفيدةُ للفيروسِ اللاقمِ على صعيدِ جعلِ عائلِهِ يكسبُ المناعةَ ضدَّ إصاباتٍ لاحقةٍ بفيروسِ لمبدا؟
3. استنادًا إلى معرفتِكَ حولَ ما تعرفهُ عن الفيروس HIV صفْ طريقةً واحدةً لوقفِ تضاعفِ هذا الفيروس.
4. استنادًا إلى فهمِكَ لعمليّةِ التضاعفِ الفيروسي، كيفَ يمكنُ للعلماءِ أن يزرعوا الفيروساتِ في المختبرِ ويجعلوها تتكاثرُ بشكلٍ اصطناعيّ؟
5. انظرْ إلى الرسمِ البيانيِّ التالي، وناقشْ كيفيّةَ توافقِ القفزةِ الحادّةِ في عددِ الفيروساتِ خارجَ الخليّةِ مع مراحلِ الدورةِ الحالَّة.

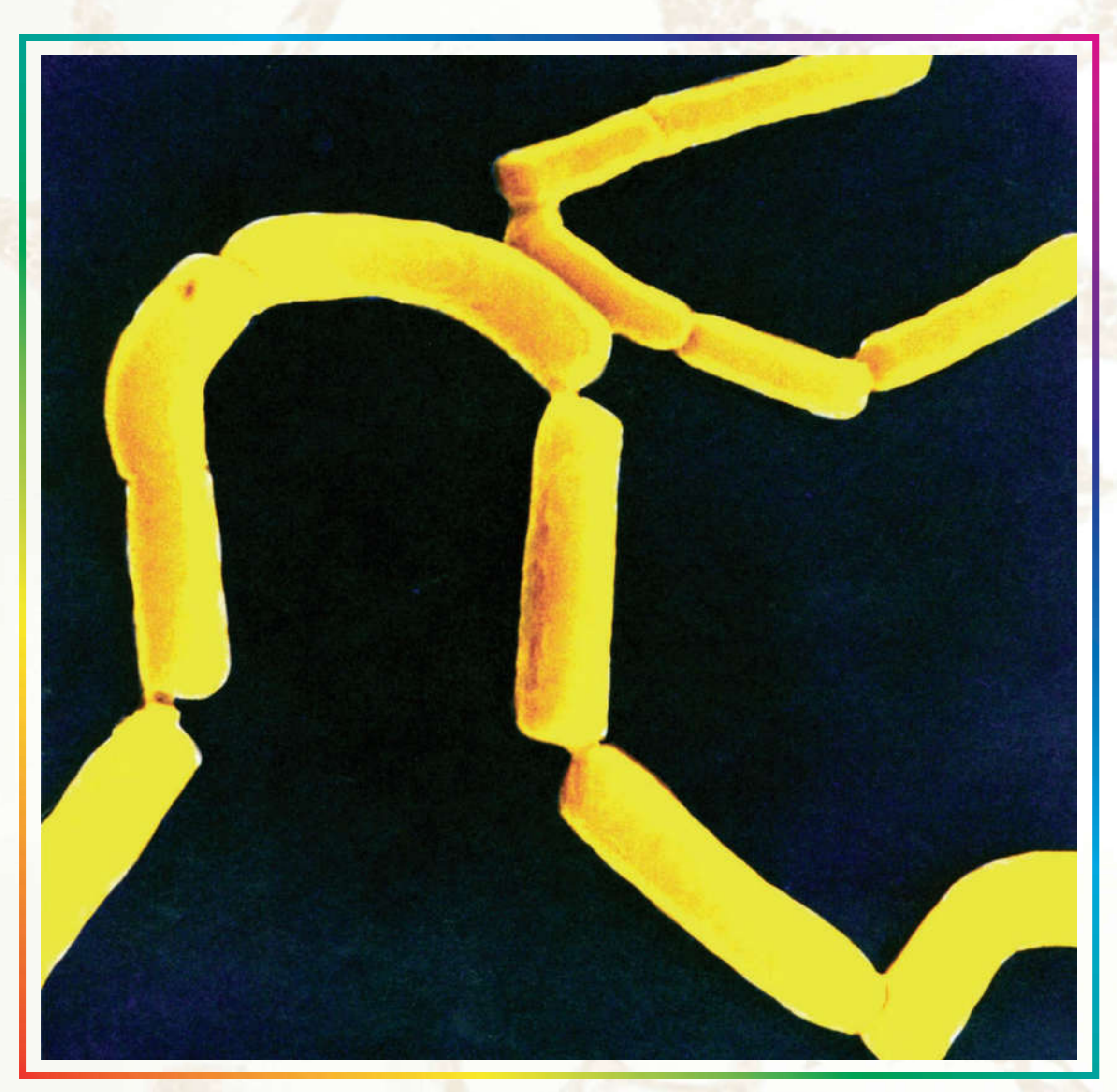



## توسيعُ آفاقِ التفكير

1. اتّصلْ بأقربِ مركزٍ طبيٍّ واسألْ عن طريقةِ تشخيصِ الأمراضِ الفيروسيّة. زُرِ المختبرَ الطبّي في المستشفى، إذا كانَ ذلكَ ممكنًا، لرؤيةِ كيفيَّةِ إجراءِ الاختبارات.
2. اكتب تقريرًا عن مرضٍ فيروسيٍّ يمكنُنا الوقايةُ منه، كشللِ الأطفال. ناقشْ في تقريرِك العمليّاتِ التي نفّذَها العلماءُ لتحديدِ سببِ المرض، وعزلِ الفيروس، وصنعِ اللّقاحِ واختبارِه.

## الفصـــل 6

# البَكْتيريا



تسمَى هذه البكتيريا Clostridium perfringens وهي تتواجد عادةً في التربةِ وتتسببُ في مرضِ «الغنغرينا الغازي» gas gangrene (17,100 ×)



**المفهومُ الرئيس:** التركيبُ الخلويُّ ووظائفُه

لاحظْ وأنتَ تقرأ، أن البكتيريا ذاتُ خصائصَ معقدةٍ في مجالِ التركيبِ والتغذيةِ والوراثة، حتى ولو كانت كائناتٍ حيةً دقيقةً أُحادية الخلية.



القسم

1-6

## مؤشراتُ الأداء

▲ يتعرّفُ البكتيريا الحقيقيةَ والبكتيريا القديمة، والعلاقاتِ التي تربِطُ بينها.

● يصفُ الطرائقَ المعتمدةَ في تصنيفِ البكتيريا.

■ يسمّي ثلاثةَ أنواعٍ معروفةٍ من البكتيريا.

◆ يميّزُ البكتيريا الموجبةَ لصبغةِ كرام من البكتيريا السالبةِ لصبغةِ كرام.

▲ يوضحُ أهميةَ دورِ البكتيريا الخضراءِ المزرقّةِ في تكوّنِ الجوِّ الحاليِّ لكوكبِ الأرض.

# تصنيفُ البكتيريا

**البكتيريا هي أكثرُ الكائناتِ الحيةِ عددًا على الأرض. وأعضاءُ هذه المملكةِ تتصفُ بحجمٍ وتركيبٍ خلويٍّ بسيطٍ ونموذجيٍّ، قياسًا على الخلايا بدائيةِ النواة.**

## التصنيف

جرى تصنيفُ البكتيريا استنادًا إلى تركيبِها، ووظائفِها، وتكوينِها الجزيئي، وتفاعلِها مع أنواعٍ محدّدةٍ من الأصباغ. وتبيّنَ للعلماءِ وجودُ نوعينِ مختلفينِ من البكتيريا. النوعُ الأولُ يسمّى البكتيريا الحقيقية، أو البكتيريا البسيطةَ التي تكوّنُ **مملكةَ البكتيريا الحقيقية Kingdom Eubacteria**، والنوعُ الآخرُ يسمّى **البكتيريا القديمة Archaebacteria**، وهي أكثرُ قِدَمًا من البكتيريا الحقيقية، وتُصنَّفُ تحتَ اسم مملكةِ البكتيريا القديمة.

### مملكةُ البكتيريا القديمة

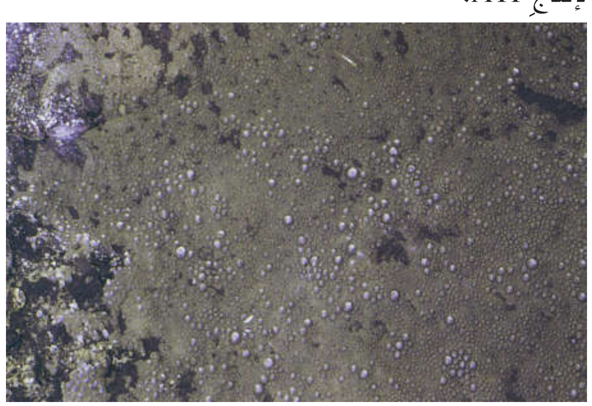
تتصفُ البكتيريا القديمةُ بدهونٍ غيرِ اعتياديةٍ في أغشيتِها الخلوية. وجدرانُها الخلويةُ تتصفُ بخلوِّها من مادةِ **بيبتدوجلايكان Peptidoglycan**، وهي مركبٌ كربوهيدراتيٌّ بروتينيٌّ يتواجدُ في الجدرانِ الخلويةِ للبكتيريا الحقيقية. تنمو البكتيريا القديمةُ في محيطاتٍ بيئيةٍ ذاتِ ظروفٍ شديدةِ القسوة، كالمستنقعات والبحيراتِ المالحةِ والينابيعِ الحارة. ومن مجموعات البكتيريا القديمةِ ما يلي:

البكتيريا **المنتجةُ للميثان Methanogens** وهي مجموعةٌ من البكتيريا تنتجُ غازَ الميثانِ انطلاقًا من الهيدروجين وثاني أكسيدِ الكربون. وبما أن الأكسجين يقتلُها تمكنتْ من العيشِ في ظروفٍ لاهوائية، كقعرِ المستنقعِ ومجاري المياهِ المبتذلة، حيث تكونُ مصدرًا لغازِ المستنقعاتِ المالحة، كما هو مبيّن في الشكل 6-1، كذلك يمكنُ أن تتواجدَ وتزدهرَ في أمعاءِ الإنسانِ وأمعاءِ حيواناتٍ كالأبقار.

البكتيريا **المحبةُ للملوحةِ المفرطة Extreme halophiles** هي بكتيريا قديمةٌ تعيشُ في محيطاتٍ بيئيةٍ ذاتِ درجاتِ تركيزٍ ملحيٍّ مرتفعةٍ جداً، كبيئةِ البحيرةِ المالحةِ الكبرى Great Salt Lake والبحرِ الميِّت Dead Sea، وهي تستخدمُ الملحَ لإنتاجِ ATP.

**الشكل 6-1**

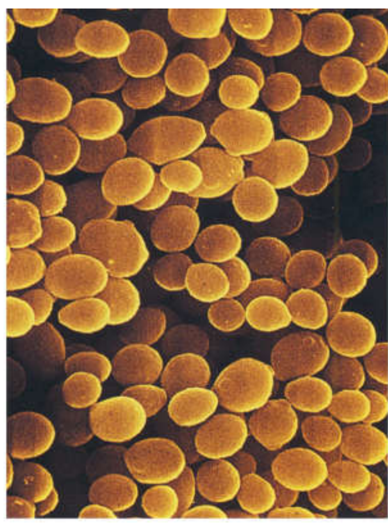
**تعيشُ بعضُ البكتيريا القديمة، كالبكتيريا المنتجة للميثانِ التي تتواجدُ في القعرِ الموحلِ لهذا المستنقع، في ظلّ انعدامِ الهواء. إنها تنتجُ الميثانَ الذي ترى فقاعاتِه تتصاعدُ عبرَ المياه.**



البكتيريا **المحبّةُ لدرجاتِ الحرارةِ المرتفعةِ وللحمْضيةِ المفرطة Thermoacidophiles**، وهي مجموعةٌ ثالثةٌ من البكتيريا القديمةِ تعيشُ في محيطاتٍ بيئيةٍ ذاتِ حمْضيةٍ مفرطةٍ ودرجاتِ حرارةٍ شديدةِ الارتفاع، كالينابيعِ الحارة. وبعضُها يزدهرُ عند درجاتِ حرارةٍ تصلُ إلى 110 درجاتٍ مئوية، ورقمٍ هيدروجينيٍّ هو دون الرقم 2. وتعيشُ هذهِ البكتيريا أيضًا بالقربِ من المنافذِ البركانيةِ على اليابسة، أو بقربِ منافذِ ينابيعِ المياهِ الساخنة، وعند شقوقِ قاعِ المحيطِ على عمقِ أميالٍ تحت سطحِ الماء، حيث تتسرّبُ مياهٌ حِمْضية.



(أ) بكتيريا عصوية



(ب) بكتيريا كروية

(ج) بكتيريا لولبية

**الشكل 2-6**

هنا تتمثلُ أكثرُ أشكالِ البكتيريا شيوعًا، بأنها:

(أ) عَصوية - *Escherichia coli*

(ب) كُروية - *Micrococcus luteus* (117,300×)

(ج) لولبية - *Spirillum volutans* (19,900×)



# مملَكَةُ البكتيريا الحقيقية

البكتيريا الحقيقيةُ تتشكَّلُ منها معظمُ البكتيريا. وهي ذاتُ أشكالٍ وأحجامٍ عديدة، وذاتُ خصائصَ كيميائيةٍ أحيائيةٍ ووراثيةٍ متمايزة. معظمُ البكتيريا لها أحدُ الأشكالِ الرئيسةِ الثلاثة، المبيَّنةِ في الشكل 6-2.

تسمّى البكتيريا الحقيقيةُ ذاتُ شكلِ العصا **البكتيريا العَصوية Bacilli**. والبكتيريا الحقيقيةُ ذاتُ الشكلِ الكرويِّ تسمّى **البكتيريا الكروية Cocci**. والبكتيريا الحقيقيةُ ذاتُ الشكلِ الحلزونيِّ تسمّى **البكتيريا اللولبية Spirilla**. عندما تنتظمُ البكتيريا الكُرويةُ على شكلِ سَبْحة، تسمّى **البكتيريا الكرويةَ السَّبحية Streptococci**، وهي عندما تتكتلُ تسمّى **البكتيريا العُنقودية Staphylococci**.

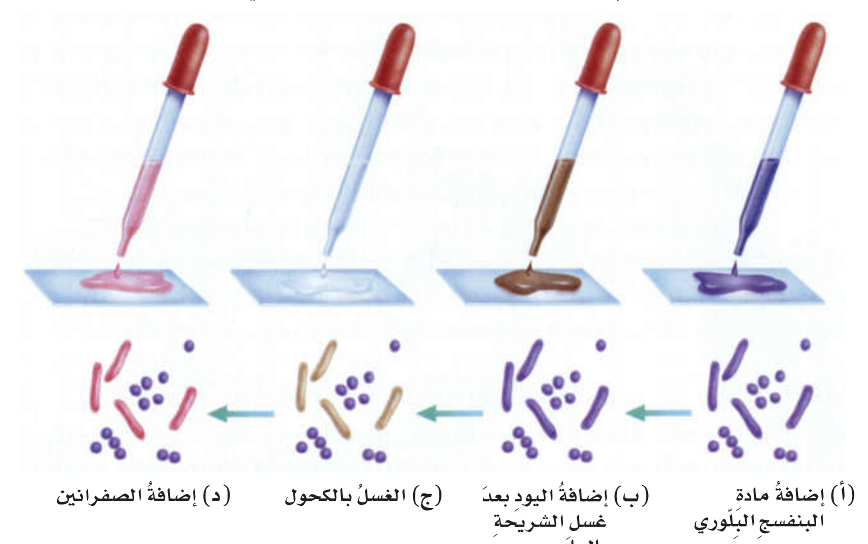
يمكنُ تقسيمُ البكتيريا الحقيقيةِ إلى 12 شعبةً مختلفة. الجدول 6-1 يبيِّنُ بعضَ شُعبِ البكتيريا المعروفةِ وخصائصَها.

## التلوينُ بصِبغةِ كرام

يمكنُ تصنيفُ معظمِ البكتيريا الحقيقيةِ في فئتين، تبعًا لاستجابتِها لتقنيةٍ مختبريةٍ تُسمّى التلوينَ **بصبغةِ كرام Gram stain**، كما يظهرُ في الشكل 6-3. تصطبغُ

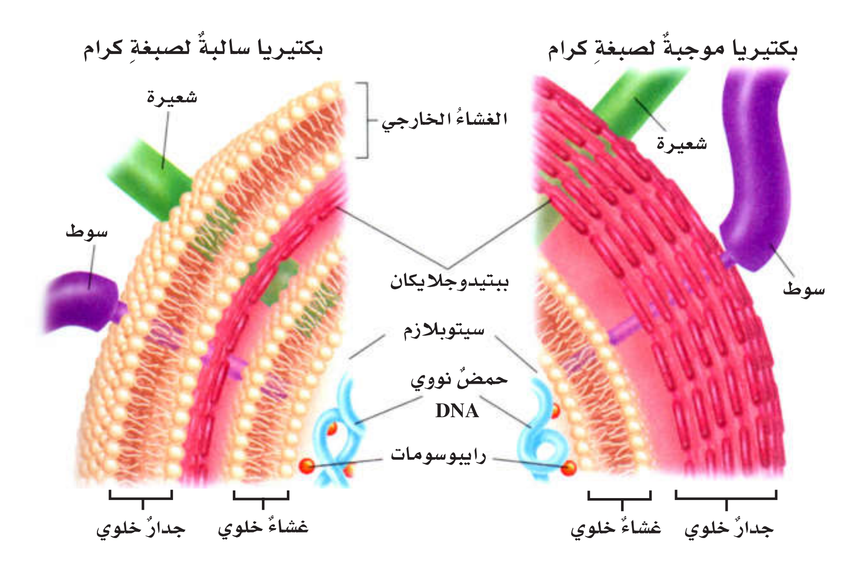
**الشكل 3-6**

في عملية تفاعل صبغة كرام، يتمُّ صَبْغُ البكتيريا التي وُضعتْ على شريحة زجاجية مجهرية بمحلولِ صبغة بنفسجية اللون تسمّى مادةَ البنفسجِ البلوري (أ)، يتمُّ غسلُ الشريحة بالماء لإزالة الصبغ البنفسجي، ثم يضافُ محلولُ اليود إلى الشريحة الزجاجية (ب)، يجري غسلُ البكتيريا بالكحول (ج) تُصبَغُ من جديد بمحلول صبغ زهريِّ اللون يسمّى الصفرانين (د) البكتيريا الموجبةُ لصبغة كرام ستحتجزُ الصبغَ البنفسجيَّ بحيثُ تبدو بنفسجيةَ اللون، في حين تبدو البكتيريا السالبةُ لصبغة كرام زهريةَ اللون لالتقاطها محلولَ الصبغِ الزهري.



(أ) إضافةُ مادة البنفسجِ البلَوري — (ب) إضافةُ اليود بعدَ غسل الشريحة بالماء — (ج) الغسلُ بالكحول — (د) إضافةُ الصفرانين






**الشكل 6-4**
يبيّنُ الرسمُ أوجهَ الشبهِ بين البكتيريا السالبةِ لصبغةِ كرام والبكتيريا الموجبةِ لصبغةِ كرام.

البكتيريا **الموجبةُ لصبغةِ كرام Gram-positive** بصبغةِ كرام، وتَظهَرُ باللونِ البنفسجيِّ تحت المجهر، أما البكتيريا **السالبةُ لصبغةِ كرام Gram-negative** فلا تصطبغُ بالصبغِ البنفسجي، بل تصطبغ بدلاً منه بصبغٍ ثانٍ زهريِّ اللون. وبما أن البكتيريا الموجبةَ لصبغةِ كرام ذاتُ طبقةٍ من ببتيدوكلايكان في جدارِها الخلوي، وأكثرُ سمكًا من البكتيريا السالبةِ لصبغةِ كرام، نجدُها تصطبغُ بصبغةِ كرام. وفي الشكل 6-4 مقارنةٌ بين الجدرانِ الخلويةِ لهاتينِ الفئتينِ من البكتيريا. وتختلفُ البكتيريا الموجبةُ لصِبغةِ كرام عن البكتيريا السالبةِ لصبغةِ كرام من حيثُ حساسيتُها تجاهَ الأدويةِ المضادةِ للبكتيريا، وإنتاجُها موادَّ سامةً مختلفة، وتفاعلُها بصورةٍ مختلفةٍ مع موادِّ التطهير. لهذه الأسباب، كانت صبغةُ كرام مفيدةً في تحديدِ البكتيريا وتصنيفِها.

## شعبةُ البكتيريا الخضراءِ المزرقّة

البكتيريا الخضراءُ المزرقّة Cyanobacteria، هي كائناتٌ تقومُ بالبناءِ الضوئي، بهدفِ إنتاجِ الموادِّ الكربوهيدراتية وإطلاقِ الأكسجين. وتحيطُ بهذه البكتيريا مادةٌ شبيهةٌ بالهلام. وهي غالبًا ما تتجمعُ على صورةِ مستعمرات.

بعضُ البكتيريا الخضراءِ المزرقّةِ تنمو على صورةِ سلاسل. وبعضُ هذه السلاسلِ متخصصةٌ، وتسمّى **حويصلاتٍ متباينة Heterocysts**. وهي تحتوي على أنزيماتٍ لتثبيتِ النيتروجين الجوي بشكلٍ يمكّنُ النباتَ من استخدامِه.

تزدهرُ البكتيريا الخضراءُ المزرقّةُ إذا توفّرتِ الموادُّ الفوسفاتيةُ والنيتروجينيةُ التي تتراكمُ في الأوساطِ المائية. إن الارتفاعَ المفاجئَ في عددِ البكتيريا الخضراءِ المزرقةِ الناجمَ عن وفرةِ الغذاءِ يسمى **الإثراءَ الغذائي Eutrophication**، أو **ازدهارَ الجماعةِ الأحيائية Population bloom**. بعد تحقيقِ الإثراءِ الغذائي، يموتُ الكثيرُ من البكتيريا الخضراءِ المزرقّةِ ويتحللُ بفعلِ البكتيريا غيرِ ذاتيةِ التغذية.

**جذرُ الكلمةِ وأصلُها**

**حويصلةٌ متباينة**
**heterocyst**
من اليونانيةِ hetero ومعناها «مختلفٌ» أو «مغايرٌ»، وكلمة kystis ومعناها «الحويصلة»

وتقومُ الجماعةُ الأحيائية للبكتيريا غيرِ ذاتيةِ التغذية، والمتزايدةُ في عددِ أفرادِها، باستهلاكِ الأكسجينِ الموجودِ في الماء، فتسببُ بذلك موتَ الكائناتِ الحيةِ الأخرى التي تعيشُ في الماء، كالأسماك، لما تُحدِثُهُ من نقصٍ في الأكسجين.

## شعبةُ السبيروكيتس

تعيشُ **السبيروكيتس Spirochetes** مستقلةً عن بعضِها، بطريقةِ التكافلِ أو بطريقةِ التطفل. إحدى بكتيريا السبيروكيتس المعروفةِ هي *Treponema pallidum* التي تسببُ مرضَ السفلس Siphylis الذي ينتقلُ عن طريقِ العلاقاتِ الجنسية. انظر الجدول 6-1 لتتعرفَ الخصائصَ العامةَ لهذهِ الشعبة.

## شعبةُ البكتيريا الموجبةِ لِصبغةِ كرام

يشتملُ أعضاءُ هذه الشعبةِ على أنواعٍ من البكتيريا الكُرويةِ السَّبحية Streptococci، وهي بكتيريا على صورةِ سلسلةٍ من الكرات، تسببُ التهاباتٍ في الحنجرة.

يتحولُ الحليبُ إلى لبنٍ عندما تنمو في الحليبِ بكتيريا عَصويةٌ معينةٌ، موجبةٌ لصبغةِ كرام، فتنتجُ الحمضَ اللبَنِيّ. وتتواجدُ البكتيريا السالبةُ لصِبغةِ كرام، في تجويفِ الفمِ وفي الأمعاء، حيث تعيقُ وتؤخرُ نموَّ البكتيريا التي تتسببُ في أمراض. إن نوع Lactobacilli، وهو عَصويُّ الشكلِ وموجبٌ لصبغةِ كرام، يتواجدُ على الأسنان، ويُعرَفُ بتسببه في تسوسِ الأسنان من خلالِ ما يطلقُهُ من الحمض.

بكتيريا **أكتينومايسيتس Actinomycetes**، تشكلُ خيوطًا متفرعة. وتنمو في التربةِ وتُنْتِجُ العديدَ من **المضاداتِ الحيوية Antibiotics**، وهي موادُّ كيميائيةٌ توقفُ نموَّ كائناتٍ حيةٍ مِجهريةٍ أخرى أو تقتُلُها. انظر الجدول 6-1 لتتعرفَ الخصائصَ العامةَ لهذه الشعبة.

**الجدول 6-1 بعضُ شعبِ البكتيريا وخصائصُها**

| الشعبة | الشكل | نمطُ الحركة | الأيض | التفاعلُ «صِبغة كرام» |
|---|---|---|---|---|
| البكتيريا الخضراءُ المزرقّة Cyanobacteria | عَصوي، كُروي | انزلاق، بعضُها غيرُ متحرك | تنفسٌ هوائي، ذاتيةُ التغذيةِ الضوئية | سالبةٌ لصِبغةِ كرام |
| سبيروكيتس Spirochetes | لولبي | حركةٌ لولبية | تنفسٌ هوائي ولاهوائي، غيرُ ذاتيةِ التغذية | سالبةٌ لصِبغةِ كرام |
| البكتيريا الموجبةُ لصِبغةِ جرام | عَصوي، كُروي | ذاتُ أسواط، بعضُها غيرُ متحرك | تنفسٌ هوائي ولاهوائي ، غيرُ ذاتيةِ التغذية، ذاتيةُ التغذيةِ الضوئية | معظمُها موجبةٌ لصِبغةِ كرام |
| بروتيوبكتيريا Proteobacteria | عَصوي، كُروي، لولبي | ذاتُ أسواط، بعضُها غيرُ متحرك | تنفسٌ هوائيٌّ ولاهوائي، غيرُ ذاتيةِ التغذية، ذاتيةُ التغذيةِ الضوئية | سالبةٌ لصِبغة كرام |

## شعبةُ بروتيوبكتيريا

البروتيوبكتيريا Proteobacteria هي أكبر الشعبِ وأكثرُها تنوُّعًا في عالمِ البكتيريا. تُقسَمُ هذه الشعبةُ إلى أقسامٍ فرعيةٍ عدة، منها بكتيريا الأمعاء، والبكتيريا ذاتُ التغذيةِ الذاتيةِ الكيميائية، والبكتيريا المثبتةُ للنيتروجين. انظر الجدول 6-1 لتتعرفَ الخصائصَ العامةَ لهذه الشعبة.

**البكتيريا الأمعائيةُ Enteric bacteria** ومن أمثلتِها بكتيريا *Escherichia coli* التي تُختصَرُ إلى *E.coli*، وتعيشُ في أمعاءِ الإنسان، حيثُ تنتجُ فيتامين K وتساعدُ الأنزيمات على عمليةِ الهضم. وهناكَ أنواعٌ أخرى من بكتيريا الأمعاءِ مثلُ سلمونيلا *Salmonella*، المسؤولةُ عن الكثيرِ من حالاتِ التسممِ الغذائي.

**البكتيريا ذاتيةُ التغذيةِ الكيميائية Chemoautotrophs** هي بكتيريا يمكنُها استخلاصُ الطاقةِ من المعادنِ الفلزيةِ عن طريقِ أكسدةِ الموادِّ الكيميائيةِ في هذه المعادن. ومنها، مثلا، البكتيريا المُؤَكْسِدةُ للحديدِ التي تعيشُ في بركِ المياهِ العذبةِ التي تحتوي على منسوبٍ عالٍ من أملاحِ الحديد.

البكتيريا المثبتةُ للنيتروجين Nitrogen-fixing bacteria، وتضمُّ بعضَ البكتيريا التي تعيشُ بصورةٍ حرةٍ مستقلةٍ، وبعضُها يعيشُ بصورةٍ تكافليةٍ مع النباتات. ومن أمثلتِها الرايزوبيوم *Rhizobium*.

البكتيريا المثبتةُ للنيتروجين ذاتُ أهميةٍ حيويةٍ بالنسبةِ لنجاحِ الكثيرِ من الأنظمةِ البيئية. فحوالي 80 في المئة من جوِّ الأرضِ مكوَّنٌ من غازِ النيتروجين $N_2$، وعلى الرغمِ من ذلك لا تستطيعُ الحيواناتُ والنباتاتُ استخدامَ غازِ النيتروجين. وبكتيريا الرايزوبيوم قادرةٌ على تحويلِ غازِ النيتروجين إلى شكلٍ من النيتروجين (الأمونيا) يمكنُ للنباتاتِ استخدامُهُ بسهولةٍ كبيرة. تستوطنُ البكتيريا المثبتةُ للنيتروجين في كثيرٍ من النباتاتِ كاللوبياءِ وفولِ الصويا والبازلاءِ والبرسيم. من خلال تحفيزِ النباتاتِ لتكوينِ عُقَدٍ في جذورها، تتلقى البكتيريا المثبتةُ للنيتروجينِ المركباتِ العضويةَ التي تحتاجُ إليها.

### مراجعةُ القسم 6-1

1. ما العلاقةُ بين المصطلحات: بكتيريا وبكتيريا حقيقية وبكتيريا قديمة.
2. اذكرْ الخصائصَ المعتمدةَ لتصنيفِ البكتيريا.
3. اذكرْ مَواطنَ ثلاثةِ أنواعٍ من البكتيريا القديمة.
4. ما الفرقُ بين البكتيريا الموجبةِ لصبغةِ كرام والبكتيريا السالبةِ لصبغةِ كرام؟
5. ما دورُ البكتيريا الخضراءِ المزرقّةِ في تكوُّنِ جوِّ كوكبِ الأرض؟
6. **تفكيرٌ ناقد** لماذا لا تقدرُ البكتيريا المنتجةُ لغازِ الميثان والبكتيريا الخضراءُ المزرقّةُ على العيشِ في محيطٍ بيئيٍّ واحد؟

# بقعةٌ جيولوجيةٌ حارّة

في العام 1977، مخرتِ الغواصةُ ألْفين Alvin ببطءٍ عُبابَ المياهِ المظلمةِ الباردةِ قُبالةَ ساحلِ الأكوادور، في أُخدودِ جالاباجوس في المحيطِ الهادئ، وكانَ على متنِ الغواصةِ فريقٌ من جيولوجيِّي البحار، من مؤسسةِ Woods Hole Oceanographic Institution لعلومِ البحار، برئاسةِ روبرت د. بالارد Robert D.Ballard. وكان هؤلاءِ يبحثونَ عن منافذَ لمياهٍ ساخنة، وشقوقٍ في القشرةِ الأرضيةِ تطلقُ الحرارةَ والمعادنَ الفلزيةَ في المياهِ المحيطةِ بها. وعند عمق في المحيطِ يبلغُ 2550 مترًا وجدوا منافذَ مياهٍ ساخنةٍ وينابيعَ حارةً تحت الماءِ تعُجُّ بالحياةِ البحرية. في ذلك الوقتِ لم يكن العلماءُ يعتقدون أن أيَّ كائنٍ حيٍّ يستطيعُ البقاءَ على قيدِ الحياةِ في ظلِّ تزامنِ قاسٍ جدًا لدرجاتِ حرارةٍ مفرطةٍ في ارتفاعِها وضغطٍ عالٍ وظلمةٍ كاملة. وكانتِ المفاجأةُ أن العلماءَ وقعوا، لدى تظهيرِهم لفيلمِ التصوير، على صورٍ غيرِ واضحةٍ لصدفياتٍ ضخمةٍ وديدانٍ أنبوبيةٍ عملاقةٍ لم تكنْ معروفةً من قبل، ومزدهرةٍ بين الحممِ العارية. عند تلك الأعماقِ لا يمكنُ لضوءِ الشمسِ أن يخترقَ المياهَ لتوفيرِ الظروفِ لحدوثِ عمليةِ البناءِ الضوئي. فما الموادُّ التي كانتِ الكائناتُ الحيةُ، في هذه المنافذِ، تستخدمُها كغذاء؟

عندما حللَ العالمُ الكيميائيُّ جون أدموند John Edmond، الذي كانَ على متنِ الغواصةِ ألفين، عيِّناتٍ من الماءِ وجدَ أنها تحتوي على مقدارٍ كبيرٍ من كبريتيدِ الهيدروجينِ المذاب. لاحقًا أكّدَ البحاثونَ أن البكتيريا الصادرةَ عن مياهِ المنافذِ، عندَ زرعِها في ظلِّ ظروفِ درجاتِ الحرارةِ والضغطِ السائدةِ في المحيطِ البيئيِّ لعمقِ البحار، تَستخدمُ كبريتيدَ الهيدروجين في أيْضِها، كمصدرٍ للطاقة، من خلالِ عمليةٍ تُعرَفُ بالبناءِ الكيميائي. ولإخضاعِ الفكرةِ التي تقولُ بأن كائناتٍ حيةً أكبرَ حجمًا تَستخدمُ تلك البكتيريا كغذاء، وللتجربةِ والاختبار، تابعَ علماءُ أحياءِ البحارِ ملاحظتَهم للكائناتِ الحيةِ التي تعيشُ ضمنَ المجتمعاتِ الأحيائيةِ للمنافذ. فاكتشفوا أن الحيواناتِ الغالبةَ في المنافذِ هي من الصدفياتِ والديدانِ الأنبوبيةِ العملاقةِ، وأنها ذاتُ علاقةِ تعايشٍ مع بكتيريا المنافذ. وَجَد هؤلاءِ العلماءُ باستخدامِ المجاهرِ أن الديدانَ الأنبوبيةَ، على سبيلِ المثال، تحتوي على مستوطناتٍ بكتيريةٍ تعيشُ في أنسجتِها. وتتصفُ الديدانُ الأنبوبيةُ باللونِ الأحمرِ لكونِها مليئةً بالهيموجلوبين (صِبْغِ الدم). يقومُ الهيموجلوبين في جسمِ الإنسانِ بنقلِ الأكسجينِ إلى الخلايا. وفي الديدانِ الأنبوبيةِ يرتبطُ الهيموجلوبينُ بكبريتيدِ الهيدروجين وينقلُهُ إلى البكتيريا. عندها تقومُ البكتيريا بأكسدةِ كبريتيدِ الهيدروجين، وتُنتِجُ مركّباتٍ كربونيةٍ تقومُ بدورِها بتغذيةِ الديدان.

منذ ذلك الحين، وُجِدتْ مجتمعاتٌ أحيائيةٌ مماثلةٌ في فئاتٍ من البقعِ الجيولوجيةِ الحارةِ في أنحاءِ العالم. وفي شهرِ يناير من العام 1993، قامتِ الغواصةُ ألفين برحلةٍ إلى East Pacific Rise وهو مرتفعٌ يقعُ تحت الماء، في الجنوبِ الغربيِّ من أكابولكو ـ مكسيكو، لدراسةِ منافذِ مياهٍ ساخنةٍ حديثةِ التكوين. وفي ذلكَ الموقع، وُجدَتْ تجمعاتٌ من الديدانِ الأنبوبيةِ الطويلةِ 1.2 m مغروسةً في قاعِ المحيط. وأفادتْ عملياتُ القياسِ أن هذه الديدانَ الأنبوبيةَ نَمَتْ بمعدلِ 84 cm في السنة، مما يعني أنها أسرعُ نموًّا من جميعِ الكائناتِ الحيةِ البحريةِ المعروفةِ .

كانت رحلةُ العامِ 1993 واحدةً من سلسلةِ عملياتِ الغوصِ في اتجاهِ East Pacific Rise. وكانت الزيارةُ الأولى لهذا الموقعِ قد تمتْ عام 1989. اكتشفَ العلماءُ يومَها لأولِ مرةٍ مجتمعًا أحيائيًّا في منفذٍ من ذلك الموقع. وفي شهرِ أبريلَ من العامِ 1991، فوجئَ فَريقُ العلماءِ بوجودِ منفذِ مياهٍ ساخنةٍ آخرَ في الموقع. لقد ولّدَ انفجارٌ بركانيٌّ حديثُ العهدِ في ذلك الموقعِ منفذَ مياهٍ ساخنةٍ يتصفُ بأعلى درجةِ حرارةٍ تمَّ تسجيلُها إلى ذلك الحين. وأطلقَ العلماءُ على الموقعِ اسمَ «مَشْوَى الديدانِ الأنبوبية» إثرَ عثورِهم على ديدانٍ أنبوبيةٍ متفحمة. وقد أفادَ أحدُ العلماءِ بأن كثافةَ البكتيريا في المجتمعاتِ الأحيائيةِ لمنافذِ تلك الشقوقِ بلغتْ حدًّا جعلَها تبدو على صورةِ عاصفةٍ ثلجية. بعدَ الانفجارِ البركانيِّ كانت الكائناتُ الحيةُ الوحيدةُ الباقيةُ على قيدِ الحياةِ عند قاعِ المحيط، تتمثلُ ببضعِ سنتيمتراتٍ من البُسُطِ البكتيرية.

وظهرت في شهرِ مارس من العامِ 1992 حياةٌ جديدةٌ حلّتْ محلَّ البُسُطِ البكتيرية، مع اكتشافِ منافذِ المياهِ الساخنة، فأثارت أسئلةً عديدةً ما تزالُ تُطرَحُ حولَ مغزاها، فيما تتواصلُ الأبحاثُ، ويقومُ العلماءُ بدراسةِ مصدرِ الضوءِ الذي تطلقُهُ هذه المنافذُ ودراسةِ تأثيراتِهِ في الكائناتِ الحيةِ المقيمةِ هناك.



حيوانُ السرطانِ الذي يعيشُ في المنافذ، وقد رُصِدَ بواسطةِ الغواصةِ ألْفين التي تعملُ عن بعد.

القسم

**2-6**

**مؤشراتُ الأداء**

▲ يَصفُ تركيبَ خليةٍ بكتيرية.

● يوضحُ ثلاثَ طرقٍ لتحركِ البكتيريا وانتقالِها.

■ يقارنُ بين أنماطِ التغذيةِ غيرِ الذاتيةِ وأنماطِ التغذيةِ الذاتيةِ في البكتيريا.

◆ يبيِّنُ أنواعًا مختلفةً من المحيطِ البيئيِّ التي تحتلُّها البكتيريا.

▲ يذكرُ ثلاثةَ أنواعٍ من إعادةِ الدمجِ الوراثيِّ في البكتيريا.

# علمُ البكتيريا

**تبدو البكتيريا، عندَ النظرِ إليها تحتَ المجهر، كعصيٍّ أو كراتٍ أو أشكالٍ أخرى بسيطةٍ نسبيًّا. إلا أن المجهرَ الإلكترونيَّ يكشِفُ قدرًا كبيرًا من التراكيبِ التفصيليةِ داخلَ كلِّ شكلٍ منها. هذه التراكيبُ التفصيليةُ مسؤولةٌ عن الأنشطةِ التي تقومُ بها البكتيريا.**

## التركيب

تتكوّنُ البكتيريا بشكل عامٍّ من جدارٍ خلويٍّ وغِشاءٍ خلويٍّ وسيتوبلازم، وفي بعضِ البكتيريا توجدُ تراكيبُ مميزةٌ مثلُ أبواغٍ داخليةٍ ومحفظاتٍ وأغشيةٍ خارجية. هذا التنوعُ في تراكيبِ البكتيريا يرجعُ إلى التكيّفاتِ مع النمطِ الحياتيِّ الخاصِّ بكلِّ فرد. والجدول 6-2 يشتمل على ملخَّصٍ للتراكيبِ البكتيرية.

### الجدارُ الخَلويّ

الجدارُ الخَلويُّ موجودٌ في كلٍّ من البكتيريا الحقيقيةِ والبكتيريا القديمة، عدا بعضِ الاستثناءات، فالجدرانُ الخلويةُ في البكتيريا الحقيقيةِ مكوّنةٌ، بخلافِ الجدرانِ الخلويةِ للنباتاتِ، من مادةِ ببتيدوكلايكان. وهذه المادةُ مكوّنةٌ من سلاسلَ قصيرةٍ من الأحماضِ الأمينيةِ أو الببتيداتِ والكربوهيدرات. أما الجدرانُ الخلويةُ للبكتيريا القديمةِ فتتكونُ من مركّبٍ مختلف. فالجدرانُ الخلويةُ لدى البكتيريا الحقيقيةِ السالبةِ لصبغةِ كرام تشتملُ على غشاءٍ خارجيٍّ يتألفُ من طبقةٍ من الدهونِ والموادِّ السكرية، ويحمي تلك البكتيريا من بعضِ أصنافِ المضاداتِ الحيويةِ بمنعِها من الدخولِ إلى الخلية.

### الغشاءُ الخلويُّ

الغشاءُ الخلويُّ للبكتيريا مكونٌ من طبقةٍ دهنيةٍ مزدوجة، ويشبهُ في تركيبِهِ الغشاءَ الخلويَّ للكائناتِ الحيةِ حقيقيةِ النواة، غيرَ أن الغشاءَ الخلويَّ في البكتيريا يحتوي على أنزيماتٍ تحفِّزُ تفاعلاتِ التنفسِ الخلوي. وبما أن البكتيريا غيرُ مزودةٍ بالميتوكوندريا، فهي تستخدمُ أغشيتَها الخلويةَ لإنتاجِ منحدَرِ تركيزٍ للبروتوناتِ ووظيفتُهُ تنفيذُ عمليةِ التنفسِ الخلوي.

ففي الأغشيةِ الخلويةِ للبكتيريا ذاتيةِ التغذيةِ طيّاتٌ داخليةٌ تسمّى ثايلاكويدات. هذه التراكيبُ مشابهةٌ للثايلاكويداتِ المتواجدةِ في البلاستيداتِ الخضراءِ لدى النبات. وتحتوي ثايلاكويداتُ البكتيريا، كما تحتوي ثايلاكويداتُ البلاستيداتِ الخضراءِ لدى النباتات، على أصباغِ البناءِ الضوئي، وتقومُ بوظيفةِ جمعِ طاقةِ الضوء. والخلايا البكتيريةُ، بخلافِ خلايا الكائناتِ الحيةِ حقيقيةِ النواة، لا تحتوي على عضياتٍ مغلفةٍ بأغشية.

## الجدول 2-6 الخصائصُ التركيبيةُ لخليةٍ بكتيرية

| التركيب | الوظيفة |
|---|---|
| الجدارُ الخلوي | يحمي الخليةَ ويعطيها شكلَها |
| *الغشاءُ الخارجي | يحمي الخليةَ من بعضِ المضاداتِ الحيوية |
| الغشاءُ الخلوي | ينظمُ حركةَ انتقالِ الموادِّ من وإلى الخلية، ويحتوي على أنزيماتٍ مهمةٍ للتنفسِ الخلوي |
| السيتوبلازم | يحتوي على الحمضِ النووي DNA وعلى الرايبوسومات، والمركباتِ العضويةِ المطلوبةِ لتنفيذِ عمليات الحياة |
| الكروموسوم | يحملُ المعلوماتِ الوراثيةَ المتوارثةَ منذ أجيال |
| البلازميد | يحتوي على بعضِ الجيناتِ الناجمةِ عن إعادةِ الدمجِ الوراثي |
| المحفظةُ وطبقةُ المادةِ الغروية | تحميانِ الخليةَ وتساعدانِ على التصاقِها بأسطحٍ أخرى |
| البوغ الداخلي | يحمي الخليةَ من الظروفِ الشديدةِ القسوةِ للمحيطِ البيئي، كالحرارةِ والجفاف |
| الشعيرات | تساعدُ الخليةَ على التصاقِها بأسطحٍ أخرى، وهذا مهمٌّ في عمليةِ إعادةِ الدمجِ الوراثي |
| السوط | يساعدُ على حركةِ البكتيريا |

* توجد في الخلايا السالبةِ لصِبغةِ كرام فقط

## DNA

يتكونُ سيتوبلازمُ الخلايا البكتيريةِ من محلولٍ لزجٍ من الرايبوسومات، ومن DNA منسَّقٍ على شكلِ حلقةٍ مقفلةٍ فردية. وبعضُ أنواعِ البكتيريا، إضافةً إلى الكروموسوم الرئيس، مزودةٌ أيضًا بكروموسوماتٍ حلَقيةٍ تسمّى بلازميدات Plasmids، وهي حلقاتٌ من DNA تقومُ بالتضاعفِ الذاتيِّ داخلَ السيتوبلازمِ الخاصِّ بها.

## المِحفظاتُ والشُّعَيْرات

كثيرٌ من أنواعِ البكتيريا يُنتجُ غطَاءً خارجيًّا مكونًا من عديداتِ تسكُّر، ويسمّى **المِحْفظة Capsule**. ترتبطُ المحفظةُ بسطحِ الخليةِ وتحميها من الإصابةِ بالجفاف ومن الموادِّ الكيميائيةِ المؤذية. وهي تحمي البكتيريا الغازيةَ كذلك من خلايا الدمِ البيضاءِ التي في جسمِ العائل. عندما تكونُ المِحفظةُ مكوَّنةً من غطاءٍ زغبيٍّ سكريٍّ لاصقٍ تسمى **الغلافَ الخَلوي Glycocalyx**، وهذا يمكِّنُ البكتيريا من الالتصاقِ بأسطحِ خلايا العائل. أما **الشُّعَيْراتُ Pilli**، فهي تراكيبُ بروتينيةٌ قصيرةٌ توجدُ على أسطحِ بعضِ أنواعِ البكتيريا، وتقومُ بمساعدةِ البكتيريا على التصاقِها بخلايا العائل، وتُستخدَمُ في نقلِ الموادِّ الوراثيةِ من بكتيريا إلى بكتيريا.

### جذرُ الكلمةِ وأصلُها

**شُعَيْرات**

**pili**

من اللاتينيةِ pilus ومعناها «الشَّعْر»

## الأبواغُ الداخلية

**البوغُ الداخليُّ Endospore** هو تركيبٌ تنتجُهُ بعضُ أنواعِ البكتيريا الموجبةِ لصبغةِ جرام عند تعرُّضِها لظروفٍ قاسيةٍ في المحيطِ البيئي. تتكونُ الأبواغُ الداخليةُ من غطاءٍ خارجيٍّ سميكٍ يحيطُ بالحمضِ النووي DNA للخلية. وعلى الرغمِ من إصابةِ الخليةِ الأساسيةِ بالدمار أحيانًا، بسببِ الظروفِ الشديدةِ القسوة، يظلُّ بوغُها الداخليُّ على قيدِ الحياة في حالةِ سبات. والأبواغُ ليست خلايا تكاثريةً وإنما تساعدُ البكتيريا على مقاومتِها لدرجاتِ الحرارةِ المرتفعةِ والموادِّ الكيميائيةِ المؤذيةِ والإشعاعاتِ والجفافِ

وظروفٍ أخرى مفرطةِ القسوةِ، في المحيطِ البيئي. وعندما تصبحُ الظروفُ مناسبةً من جديد، ينفتحُ البوغُ الداخليُّ ويسمحُ للبكتيريا الحيةِ بأن تخرجَ منهُ وتتكاثر.



**الشكل 6-5**
تتنقلُ بعضُ البكتيريا، كهذه السلمونيلا، بواسطةِ الأسواط.

### تراكيبُ الحركةِ

يستخدِمُ العديدُ من البكتيريا ما لديهِ من أسواطٍ للتنقل. فتقومُ الأسواطُ المكوَّنةُ من البروتين بحركةِ دوران، فتدفعُ البكتيريا من خلالِ حركةِ «جري وتقلُّب» غير منتظمة. ويمكنُ للبكتيريا أن تكونَ مزودةً بسوطٍ واحد، أو بحزمةٍ من الأسواط. وبعضُ أنواعِ البكتيريا مزودةٌ بأسواطٍ موجودةٍ عند طرفَي الخلية، وأنواعٌ أخرى محاطةٌ بكاملِها بأسواط، كما هي الحالُ بالنسبةِ للبكتيريا المبيّنة في الشكل 6-5.

والبكتيريا التي تفتقرُ إلى أسواطٍ تمتلكُ أساليبَ أخرى للتنقل. فعلى سبيلِ المثالِ تولِّدُ الميكسوبكتيريا Myxobacteria طبقةً من المادةِ الغروية، فتساعدُها على الانزلاق. وتنتقلُ بعضُ البكتيريا اللولبيةِ الشكلِ بواسطةِ حركتِها اللولبية. وهذه الكائناتُ الحيةُ مزودةٌ بجدرانٍ خلويةٍ مرنةٍ، وبخيوطٍ داخلَ الجدرانِ الخلويةِ تجعلُ البكتيريا، لدى انقباضِها، تدورُ وتتقدم.

## التغذيةُ والنمو

يمكنُ للبكتيريا أن تكونَ ذاتيةَ التغذيةِ أو غيرَ ذاتيةِ التغذية. البكتيريا غيرُ ذاتيةِ التغذيةِ تستخدمُ الموادَّ العُضويةَ مصدرًا للتغذية، وتسمّى البكتيريا **المترممة Saprophytes**، والبكتيريا ذاتيةُ التغذيةِ تحصلُ على الطاقةِ من ضوءِ الشمسِ أو من المعادنِ الفلزية.

البكتيريا التي تستخدمُ ضوءَ الشمسِ مصدرًا للطاقة، كالبكتيريا الخضراءِ المزرقّة، تسمّى **ذاتيةَ التغذيةِ الضوئية Photoautotrophs** وتَستخدِمُ مركّباتٍ لالتقاطِ الضوءِ مماثلةً للمركّباتِ التي تَستخدمُها النباتاتُ في الحصولِ على الطاقة. وكما رأيتَ في القسمِ السابق، تقومُ البكتيريا ذاتيةُ التغذيةِ الكيميائية، وهي مجموعةٌ أخرى من البكتيريا ذاتيةِ التغذية، بأكْسَدَةِ المركّباتِ غيرِ العضويةِ للحصولِ على الطاقة. فبكتيريا نيتروسوموناس *Nitrosomonas* مثلاً، تؤكسدُ الأمونيا $NH_3$ لتكوينِ النتريت $(NO_2)^-$.

وتوجدُ أنواعٌ مختلفةٌ من البكتيريا، وذلك تبعًا لحاجتِها إلى الأكسجين في عمليةِ التنفس. بعضُ هذهِ البكتيريا من النوعِ **اللاهوائيِّ الإجباري Obligate anaerobes**، وهذا يعني أنها لا تستطيعُ البقاءَ على قيدِ الحياةِ حيث يوجدُ الأكسجين، مثل بكتيريا *Clostridium tetani* التي تتسببُ في مرضِ الكَزاز *Tetanus*.

والأنواعُ **اللاهوائيةُ اختياريًا Facultative anaerobes**، مثلُ *Escherichia coli*. المعروفةُ بتواجدِها في الجهازِ الهضميِّ للإنسان، تستطيعُ العيشَ دونَ أكسجين. أما البكتيريا التي لا يُمكِنها البقاءُ على قيدِ الحياةِ دونَ أكسجين فتسمّى كائناتٍ حيةً **هوائيةً إجبارية Obligate aerobes**، ومنها البكتيريا *Mycobacterium tuberculosis*

التي تعيشُ في الرئتين وتسببُ مرضَ السلّ.

وتتنوعُ متطلباتُ نموِّ البكتيريا من ناحيةِ درجاتِ الحرارةِ المطلوبةِ للنمو. فبعضُ البكتيريا ينمو على أفضلِ وجهٍ ضمنَ درجاتِ الحرارةِ الباردةِ التي تراوحُ بين صفرٍ و20 درجةً مئوية، وهناك بكتيريا أخرى تنمو على أفضلِ وجهٍ ضمنَ درجاتِ حرارةٍ تراوح بين 20 درجةً مئويةً و40 درجةً مئوية. أما البكتيريا **المُحبَّةُ لدرجةِ الحرارةِ المرتفعة Thermophilic** فتنمو، على أفضلِ وجهٍ، بين 40 درجةً مئويةً و110 درجاتٍ مئوية.

## التكاثرُ وإعادةُ الدمجِ الوراثي

كما تعلمت في الصفِّ العاشر، الفصل 4، تتكاثرُ البكتيريا عن طريقِ الانشطارِ الثنائي، وليسَ تكاثرًا جنسيًّا. فهي أحيانًا تتبادلُ المعلوماتِ الوراثيةَ التي ينتجُ عنها التنوعُ الوراثيُّ الذي يسهمُ في زيادةِ التنوعِ الأحيائي بإحدى الطرقِ الثلاثِ التالية:

**الاقتران Conjugation**، وهو العمليةُ التي تؤدي إلى التصاقِ خليتين بكتيريتين وانتقالِ موادَّ وراثيةٍ من خليةٍ إلى أخرى، إذ تشكلُ الخليتانِ الملتصقتان ممرًّا بينهما يُسمّى **جسرَ الاقتران Conjugation bridge**، وعبرَهُ تنتقلُ المعلوماتُ الوراثية.

**التحوُّل Transformation**، وهو العمليةُ التي تأخذُ خلالَها خليةٌ بكتيريةٌ حيةٌ DNA من خليةٍ بكتيريةٍ ميتةٍ مجاورة، حيثُ يندمجُ حمضُ الخليةِ الميتةِ بـ DNA الخليةِ الحية، فيُحدِثُ تحويرًا في المعلوماتِ الوراثية للبكتيريا الحية.

**النقل Transduction**، وهو العمليةُ التي يتمُّ فيها استخدامُ فيروسٍ لنقلِ DNA من خليةٍ بكتيريةٍ إلى أخرى. فعندما يغزو الفيروسُ اللاقمُ للبكتيريا خليةً بكتيريةً يستطيعُ أن يأخذَ منها DNA، ثم ينقلُه إلى خليةٍ بكتيريةٍ أخرى عندَ غزوهِ لها.

### مراجعةُ القسم 2-6

1. اذكرْ التراكيبَ المتنوعةَ للخليةِ البكتيريةِ وصِفْ وظائفَها.
2. صفْ ثلاثةَ أنواعٍ من طرقِ الحركةِ في البكتيريا.
3. ما المصطلحاتُ التي تُستخدَم في وصفِ متطلباتِ البكتيريا من حيثُ استخدامُها الأكسجين.
4. ما الفرقُ بين الكائناتِ الحيةِ ذاتيةِ التغذيةِ الضوئية، وبين الكائناتِ الحيةِ ذاتيةِ التغذيةِ الكيميائية؟
5. ما الطرقُ الثلاثُ التي تتبادلُ عبرَها خلايا البكتيريا المعلوماتِ الوراثية.
6. **تفكيرٌ ناقد** أيُّ التراكيبِ للكائناتِ الحيةِ حقيقيةِ النواةِ هي ذاتُ وظائفَ مشابهةٍ لوظائفِ الغشاءِ الخلوي البكتيري وطيّاتِه الداخلية؟

القســـم

3-6

## مؤشراتُ الأداء



▲ يصفُ الطرقَ التي تمكِّنُ البكتيريا من التسببِ في أمراضٍ تصيبُ الإنسان.

● يحددُ كيفيةَ نشوءِ المقاومةِ للمضاداتِ الحيوية.

■ يصفُ طرقَ مقاومةِ البكتيريا للمضاداتِ الحيوية.

◆ يذكرُ ثلاثَ فوائدَ للبكتيريا بالنسبةِ للإنسان.

# علاقةُ البكتيريا بالإنسان

**كثيرٌ من معرفتِنا بالبكتيريا ناجمٌ عن دراسةِ الأمراضِ التي تسبِّبُها البكتيريا للإنسان. فماذا تعرفُ عن فوائدِ البكتيريا للإنسان؟**

**للبكتيريا دورٌ في تحضيرِ الأطعمةِ وفي العملياتِ المتعلقةِ بالمحيطِ البيئي وفي العملياتِ الكيميائيةِ واستخراجِ المعادنِ والخامات.**

## الأمراضُ البكتيرية

الدراسةُ العلميةُ لمسبباتِ الأمراضِ تسمّى **علمَ الأمراضِ Pathology**. وتسمّى البكتيريا التي تتسببُ في الأمراضِ البكتيريا الممرِضة Pathogenic. وقد وردتْ بعضُ الأمراضِ التي تسبِّبُها البكتيريا في الجدول 6-3 اللاحق.

ومن البكتيريا ما يتسببُ في المرضِ عن طريقِ إنتاجِ **موادَّ سامة Toxins**. وهذهِ الموادُّ قسمانِ: **السمومُ الخارجية Exotoxins**، وهي سمومٌ مكوَّنةٌ من البروتين،

**الجدول 3-6** ملخصُ الأمراضِ البكتيريةِ عندَ الإنسان

| المرض | مسببُ المرض | المناطقُ المتأثرةُ بالمرض | طريقةُ انتقالِ المرض |
|---|---|---|---|
| التسممُ الغذائي Botulism | *Clostridium botulinum* | الأعصاب | الأطعمةُ الفاسدةُ والملوَّثة |
| الكوليرا Cholera | *Vibrio cholerae* | الأمعاء | المياهُ الملوَّثة |
| تسوسُ الأسنان | *Steptococcus mutans, sanguis and salivarius* | الأسنان | البكتيريا تدخلُ الفمَ عن طريقِ المحيطِ البيئي |
| السيلان gonorrhea | *Neisseria gonorrhoeae* | مجرى البول، قناةُ «فالوب»، قناةُ البربخ | من شخصٍ إلى شخصٍ عن طريقِ الاتصالِ الجنسي |
| التسممُ الغذائيُّ بالسلمونيلا Salmonella food poisoning | *Salmonella* | الأمعاء | المياهُ والأطعمةُ الملوَّثة |
| إلتهابُ الحنجرة Strep throat | *Streptococcus pyogenes* | المجرى التنفسيُّ العلويّ، الدم، الجلد | من شخصٍ إلى شخصٍ عن طريقِ العُطاسِ والسُّعالِ أوِ الملامسةِ المباشرة |
| الكزاز Tetanus | *Clostridium tetani* | الأعصابُ | جروحٌ أصابَها التلوث |
| مرضُ السل Tuberculosis | *Mycobacterium tuberculosis* | الرئتان، والعظام | من شخصٍ إلى شخصٍ عن طريقِ السعال |

ويتمُّ انتاجُها بواسطةِ البكتيريا الموجبةِ لصِبغةِ كرام التي تفرغُ سمومَها في المحيطِ البيئي. من ذلك، مثلاً، مرضُ الكزاز.

**والسمومُ الداخليةُ Endotoxins**، وهي سُمومٌ مكونةٌ من الدهونِ والكربوهيدراتِ المرتبطةِ بالغشاءِ الخارجيِّ للبكتيريا السالبةِ لصبغةِ كرام، مثل *E.coli*. في أثناءِ انطلاقِ السمومِ الخارجية، بصورةٍ متواصلة، من البكتيريا الموجبةِ لصِبغةِ كرام، تُطلِقُ البكتيريا السالبةُ لصبغةِ كرام سمومَها الداخليةَ بعدَ موتِها. وحالما يتمُّ إطلاقُها تتسببُ في الحمّى، والآلامِ الجسدية، والضَّعفِ، وتُلْحِقُ الضررَ بالأوعيةِ الدموية.

تتسببُ البكتيريا كذلك في الأمراضِ عن طريقِ تدميرِها لأنسجةِ الجسم. فهي تقومُ عندَ التصاقِها بالخلايا، بإفرازِ أنزيماتٍ هاضمةٍ تسمحُ بحدوثِ المزيدِ من الغزوِ للأنسجة. فمثلاً تُنتِجُ بعضُ البكتيريا الكرويةِ السَبْحيةِ أنزيمًا يذيبُ الدمَ المتخثرَ ويسمحُ للبكتيريا المسببةِ للمرضِ بالانتشارِ في أنسجةٍ أخرى.

**جذرُ الكلمةِ وأصلُها**

**السُّمُّ الداخلي**

**endotoxin**

من اليونانيةِ endon ومعناها «ضمن»

و toxicon ومعناها «السُّم»

## المُضاداتُ الحيوية

المضاداتُ الحيويةُ Antibiotics هي عقاقيرُ تكافحُ البكتيريا عن طريقِ وقفِ وظائفَ خلويةٍ متنوعةٍ لدى البكتيريا، ومنها **البينيسيلين Penicillin** الذي يوقفُ عمليةَ بناءِ الجدارِ الخلوي، **والتتراسيكلين Tetracycline** الذي يعترضُ بناءَ البروتينِ البكتيري. ويُشتَقُّ الكثيرُ من المضاداتِ الحيويةِ من موادَّ كيميائيةٍ تُنتِجُها البكتيريا والفطرياتُ لتحميَ أنفسَها من غزوِ كائناتٍ مجهريةٍ أخرى. ومن المضاداتِ الحيويةِ الأخرى **عقاقيرُ السلفا Sulfa drug** التي يتمُّ إنتاجُها صناعيًّا في المختبر. وهناك

**الجدول 4-6 ملخصٌ للمضاداتِ الحيويةِ الشائعة**

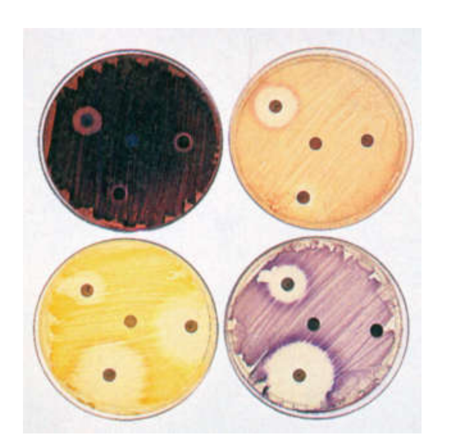
| المضادُّ الحيويُّ أو العقارُ الصناعي | آليةُ العمل | البكتيريا المستهدفة |
|---|---|---|
| بينيسيلين Penicillin | يوقفُ بناءَ الجدارِ الخلوي | بكتيريا موجبةٌ لصِبغةِ كرام |
| أمبيسيلين Ampicillin | يوقفُ بناءَ الجدارِ الخلوي | مفعولٌ واسعُ النطاق |
| باسيتراسين Bacitracin | يوقفُ بناءَ الجدارِ الخلوي | بكتيريا موجبةٌ لصِبغةِ كرام، مستخدَمٌ كمرهمٍ لمرضٍ جلدي |
| سيفالوسبورين Cephalosporin | يوقفُ بناءَ الجدارِ الخلوي | بكتيريا موجبةٌ لصِبغةِ كرام |
| تتراسيكلين Tetracycline | يوقفُ بناءَ البروتين | مفعولُهُ واسعُ النطاق |
| ستربتومايسين Streptomycin | يوقفُ بناءَ البروتين | بكتيريا سالبةٌ لصِبغةِ كرام، مرضُ السل |
| عقارُ سلفا Sulfa drug | يوقفُ الأيضَ الخلوي | التهابُ سحايا الدماغِ بفعلِ البكتيريا، التهاباتُ المسالكِ البولية |
| ريفامبين Rifampin | يوقفُ بناءَ الحمضِ النوويِّ الرايبوزي | بكتيريا موجبةٌ لصِبغةِ كرام وبعضٌ من البكتيريا السالبةِ لصِبغةِ كرام |
| كوينولينات Quinolines | يوقفُ بناءَ الحمضِ النووي DNA | التهاباتُ المسالكِ البولية |

كثيرٌ من المضاداتِ الحيويةِ القادرةِ على التأثيرِ في أنواعٍ كثيرةٍ من الكائناتِ الحية. من هنا جاءَ اسمُها: كان اسمُ هذه المضادّات: **المضاداتِ الحيويةَ ذاتَ المفعولِ الواسعِ النطاق** **Broad spectrum antibiotic**. ويبيّنُ الجدول 6-4 بعضَ المضاداتِ الحيوية، وآلياتِ عملِها، والبكتيريا التي تستهدفُها.

## مقاومةُ المضادّاتِ الحيوية

عند تعريضِ جماعةٍ أحيائيةٍ من البكتيريا لمضادٍّ حيويّ، تموتُ أولاً البكتيريا الأكثرُ حساسيةً تجاهَ المضادِّ الحيويّ. إلاّ أن عددًا قليلاً جدًّا من البكتيريا ذاتِ الطفرةِ الوراثيةِ والمقاومةِ للمضادِّ الحيوي يواصلُ نموَّه. وانطلاقًا من هذه البكتيريا الطفرةِ تنمو جماعةٌ أحيائيةٌ مقاومةٌ عن طريقِ التكاثرِ وإعادةِ الدمجِ والتشكيلِ الوراثي. بهذه الطريقة تفيدُ المضاداتُ الحيويةُ، عبرَ عمليةِ الانتقاء، البكتيريا التي قاومت المضادَّ الحيوي. ونتيجةً للإفراطِ في استخدامِ المضاداتِ الحيوية، على صعيدِ العالم، فقد أصبحتْ معالجةُ العديدِ من الأمراض، التي كان من السهلِ معالجتُها في السابق، أكثرَ صعوبة.

تختلفُ آلياتُ مقاومةِ البكتيريا للمضادِّ الحيويِّ وتتنوع. فبعضُ البكتيريا تقومُ جدرانُها الخلويةُ بمنعِ مرورِ المضادِّ الحيوي بينما تفرزُ بكتيريا أخرى أنزيماتٍ تدمِّرُ المضادَّ الحيويَّ أو تشوِّهُه، كما تفعلُ البكتيريا المقاومةُ للبينيسيلين. ويبيِّنُ الشكل 6-6 طريقةً لاختبارِ مقاومةِ البكتيريا وحساسيتِها تجاهَ المضاداتِ الحيوية.



**الشكل 6-6**
يمكنُ إجراءُ اختبارٍ على البكتيريا لمعرفةِ حساسيتِها تجاه المضاداتِ الحيوية، عن طريقِ زرعِها وتنميتِها في طبقٍ بتري ومعها أقراصٌ ورقيةٌ تحتوي على مضاداتٍ حيويةٍ عدة. فيما تنتشرُ المضاداتُ الحيويةُ عبرَ الأجار يتوقفُ نموُّ البكتيريا بسببِ المضادِّ الحيويّ، إذا كانت لدى البكتيريا حساسيةٌ تجاه هذا المضادِّ الحيوي.

## البكتيريا المفيدة

تؤثرُ البكتيريا في حياتِنا بطرقٍ إيجابيةٍ عدة. ففي **معالجةِ مياهِ المجاري**، مثلاً، تقومُ البكتيريا بتفكيكِ بقايا الموادِّ العضويةِ في النباتاتِ الميتةِ وفي نُفاياتِ الحيوانات، وبذلك يُعادُ تدويرُ الكربون والنيتروجين، كما تحوِّلُ البكتيريا المياهَ العادمةَ إلى مركّباتٍ عُضويةٍ أكثرَ بساطة. فتقومُ مع كائناتٍ حيةٍ دقيقةٍ أخرى، بإعادةِ تدويرِ المركّباتِ الصادرةِ عن الكائناتِ الميتة، وتضعُها، من خلالِ عمليةِ التحلل، في متناولِ كائناتٍ حيةٍ أخرى. كذلك هناك العديدُ من البكتيريا القادرةِ على تثبيتِ ثاني أكسيدِ الكربون وإنتاجِ مركّباتٍ عضوية.

البكتيريا مفيدةٌ أيضًا في **إنتاجِ الأطعمةِ ومعالجتِها**. فمثلاً، تقومُ البكتيريا بتخميرِ سكّرِ اللاكتوزِ في الحليبِ لصنعِ منتجاتٍ من الحليب، كزبدةِ الحليب، واللبنِ الزبادي. وتقومُ أنواعٌ أخرى من البكتيريا بهضمِ الحليبِ وإنتاجِ الأجبانِ كالجبنِ البلدي. كما تقومُ البكتيريا بهضمِ الكربوهيدراتِ الموجودِ في الخَضْراواتِ لإنتاجِ المخللات، كمخلّلِ الخيارِ مثلاً.

تُستخدمُ البكتيريا أيضًا في **الإنتاجِ الكيميائيِّ الصناعي**. فتُنتجُ الموادَّ الكيميائيةَ العضويةَ والوقود. وبعضُها يفيدُ في استخراجِ المعادنِ الفلزيةِ من باطنِ الأرض، وفي استعادةِ النفط. وهناك بكتيريا أخرى تُستخدَمُ، مع ما تنتجُهُ، كموادَّ مبيدةٍ للحشرات. وتساهمُ البكتيريا كذلك في أعمالِ التنظيفِ عندَ حدوثِ كوارثَ بيئيةٍ يتسببُ بها الإنسان، كتسربِ الموادِّ الكيميائيةِ والنفط.

## مراجعةُ القسم 6-3

1. صفِ الطرقَ التي تتسببُ بها البكتيريا في أمراضٍ للناس.
2. ما وظيفةُ المضاداتِ الحيويةِ في الكائناتِ الحية؟
3. اذكرْ ثلاثةَ مضاداتٍ حيويةٍ تُستخدَمُ في معالجةِ الأمراض، وصِفْ آليةَ عملِ كلٍّ منها.
4. اذكرْ بعضَ فوائدِ البكتيريا.
5. وضّح كيفيةَ نشوءِ مقاومةِ البكتيريا للمضاداتِ الحيويةِ وطريقةَ مقاومتِها للمضاداتِ الحيوية.
6. **تفكيرٌ ناقد** لماذا يتمُّ تحضيرُ المخللاتِ في ظروفٍ لاهوائية؟

# مراجعةُ الفصل 6

## ملخص / مفردات

**1-6** ■ البكتيريا كائناتٌ حيةٌ بدائيةُ النواةِ وأُحاديةُ الخلية. تظهرُ البكتيريا بأشكالٍ متنوعة: عَصويةٍ وكُرويةٍ ولولبية.

■ تُصنَّفُ البكتيريا في مملكتينِ هما: مملكةُ البكتيريا القديمةِ التي تشتملُ على الأشكالِ القديمة للحياة، ومملكةُ البكتيريا الحقيقيةِ التي تشتملُ على معظمِ البكتيريا.

■ البكتيريا القديمةُ تتضمنُ البكتيريا المنتجةَ للميثانِ الغازي، والبكتيريا القديمةَ التي تحبُّ الظروفَ الشديدةَ القسوة كالملوحةِ المفرطة، وتعيشُ في أنواعِ المحيطاتِ البيئيةِ الشديدةِ الملوحة. ومن ضمنِ البكتيريا القديمةِ البكتيريا التي تحبُّ درجةَ الحرارةِ المُفرطةَ والحمضيةَ المُفْرطة، وتعيشُ في أوساطٍ تتصفُ بذلك.

■ تُستخدَمُ صِبغةُ كرام في تصنيفِ البكتيريا إلى مجموعتينِ هما: البكتيريا الموجبةُ لصِبغةِ كرام، والبكتيريا السالبةُ لصِبغةِ كرام.

■ البكتيريا الخضراءُ المزرقّةُ هي بكتيريا تقومُ بالبناءِ الضوئيِّ الذي ربما أنتجَ الكثيرَ من أكسجينِ جوِّ الأرض.

### مفردات

| | | |
|---|---|---|
| الإثراءُ الغذائي Eutrophication (77) | البكتيريا الكُروية Coccus (76) | المحبُّ للحرارةِ المرتفعة وللحمضيةِ المفرطة Thermoacidophile (75) |
| ازدهارُ الجماعةِ الأحيائية Population bloom (77) | البكتيريا الكُرويةُ السبحية Streptococcus (76) | المحبُّ للملوحةِ المفرطة Extreme Halophile (75) |
| الأكتينوميسيت Actinomycete (78) | البكتيريا اللولبية Spirillum (76) | المضادُّ الحيوي Antibiotic (78) |
| البيتيدوجلايكان Peptidoglycan (75) | الحُوَيْصلةُ المتباينة Heterocyst (77) | مملكةُ البكتيريا الحقيقية Kingdom Eubacterium (75) |
| بكتيريا الأمعاء Enteric bacterium (79) | ذاتيُّ التغذيةِ الكيميائية Chemoautotroph (79) | المنتِجُ للميثان Methanogen (75) |
| البكتيريا العَصوية Bacillus (76) | السالبةُ لصبغةِ كرام Gram-Negative (77) | الموجبةُ لصبغةِ كرام Gram-Positive (77) |
| البكتيريا العُنقودية Staphylococcus (76) | السبيروكيت Spirochete (78) | |
| البكتيريا القديمة Archaebacterium (75) | صِبغةُ كرام Gram-Stain (76) | |

**2-6** ■ تشتملُ التراكيبُ الرئيسةُ للخليةِ البكتيريةِ على الجدارِ الخلوي، والغشاءِ الخلوي، والسيتوبلازم، والمحفظة، والشُّعيرات، والأبواغِ الداخلية، والرايبوسومات، وتراكيبِ الحركةِ والتنقل.

■ تختلفُ البكتيريا الهوائيةُ والبكتيريا اللاهوائيةُ من حيث احتياجُ الأولى لمحيطٍ بيئيٍّ غنيٍّ بالأكسجين، واحتياجُ الثانيةِ لمحيطٍ بيئيٍّ خالٍ من الأكسجين. وتعيشُ أنواعٌ مختلفةٌ من البكتيريا ضمنَ درجاتِ حرارةٍ مختلفة، تتراوحُ بين صفرٍ و 110 درجاتٍ مئوية. تنمو معظمُ البكتيريا على أفضلِ وجهٍ عند رقمٍ هيدروجينيٍّ معادل.

### مفردات

| | | |
|---|---|---|
| الاقتران Conjugation (84) | الشُّعَيْرة Pilus (82) | المحفَظة Capsule (82) |
| البوغُ الداخليّ Endospore (82) | الغلافُ الخلوي Glycocalyx (82) | النقل Transduction (84) |
| التحوّل Transformation (84) | اللاهوائيُّ الإجباري Obligate Anaerobe (83) | الهوائيُّ الإجباري Obligate Aerobe (83) |
| جسرُ الاقتران Conjugation bridge (84) | المترمِّم Saprophyte (83) | |
| ذاتيُّ التغذيةِ الضوئية Photoautotroph (83) | المحبُّ للحرارةِ المرتفعة Thermophilic (84) | |

**3-6** ■ الكثيرُ من البكتيريا يتسببُ في أمراض، ويمكنُ للأمراضِ أن تنجمَ عن سمومٍ تولِّدُها البكتيريا، أو عن تدميرِ أنسجةِ الجسم، أو عن أنزيماتٍ بكتيريةٍ تعترضُ العملياتِ الاعتياديةَ التي يقومُ بها الجسم.

■ المضاداتُ الحيويةُ توقفُ نموَّ البكتيريا. البكتيريا المقاومةُ للمضاداتِ الحيويةِ تدمرُ المضاداتِ الحيويةَ او تمنعُ دخولَ المضادِّ الحيويِّ إلى السيتوبلازم.

■ البكتيريا المفيدةُ تساعدُ على تحويلِ المياهِ العادمةِ إلى مركباتٍ عضويةٍ أكثرَ بساطة، وتساعدُ على إنتاجِ ومعالجةِ الأطعمة، وعلى إنتاجِ الموادِّ الكيميائيةِ الصناعية، واستخراجِ المعادنِ الفلزيةِ من جوفِ الأرض، وإنتاجِ مبيداتِ الحشرات، وعلى إزالةِ تسرباتِ الموادِّ الكيميائيةِ والنفط.

### مفردات

| | | |
|---|---|---|
| البينيسيلين Penicillin (86) | السمُّ الداخلي Endotoxin (86) | المادةُ السامّة Toxin (85) |
| التتراسيكلين Tetracycline (86) | عَقارُ سلفا Sulfa drug (86) | المضادُّ الحيويُّ الواسعُ النطاق Broad-spectrum antibiotic (87) |
| السُّمُّ الخارجي Exotoxin (85) | علمُ الأمراض Pathology (85) | |

# مراجعة

## مفردات

اخترْ من كلِّ مجموعةٍ المصطلحَ الذي لا ينتمي إليها، واشرحْ سببَ عدمِ الانتماء.

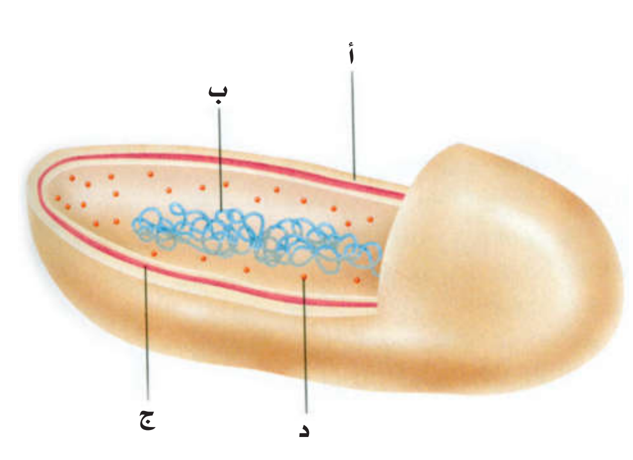
1. كائنٌ حيٌّ غيرُ ذاتيِّ التغذية، كائنٌ مترمِّم، كائنٌ ذاتيُّ التغذيةِ الكيميائية.
2. منتجٌ للميثان، سبيروكيتس، بكتيريا أمعائية.
3. بكتيريا قديمة، سُمٌّ خارجي، مسببٌ للأمراض.
4. شُعَيْرة، اقتران، بوغٌ داخلي.
5. بكتيريا خضراءُ مزرقّة، بكتيريا لاهوائية، بكتيريا أمعائية.

## اختيارٌ من متعدد

6. تقومُ البكتيريا بإنتاجِ اللبنِ الزبادي من الحليبِ عن طريقِ (أ) الاقتران (ب) التنفسِ الهوائي (ج) التخمّر (د) تثبيتِ النيتروجين.
7. البكتيريا المحبةُ للحرارةِ والحمضيةِ المرتفعتين هي (أ) البكتيريا الحقيقية (ب) البكتيريا الخضراءُ المزرقّة (ج) البكتيريا القديمة (د) السبيروكيتس.
8. تتلوّنُ البكتيريا الموجبةُ لصبغةِ كرام باللونِ(أ) الأزرق (ب) الزهري (ج) الأحمر (د) البنفسجي.
9. يَنتجُ الإثراءُ الغذائيُّ عن (أ) المضاداتِ الحيوية (ب) مسبباتِ الأمراض (ج) اقترانِ البكتيريا (د) تعاظمِ الجماعاتِ الأحيائية.
10. الحمضُ DNA البكتيري (أ) حلقةٌ مقفلة (ب) يتواجدُ في محفظة (ج) خطِّيُّ الشكل (د) يتواجدُ في النواة.
11. الغلافُ الخلويُّ يساعدُ البكتيريا على (أ) البقاءِ على قيدِ الحياةِ في المحيطِ البيئيِّ ضمنَ ظروفٍ غيرِ ملائمة (ب) الالتصاقِ بالأسطح (ج) إخضاعِ غازِ النيتروجين لعملياتِ الأيض (د) ابتلاعِ الغذاء.
12. خلالَ عمليةِ تثبيتِ النيتروجين، يتمُّ تحويلُ النيتروجين الغازيِّ إلى (أ) كربون (ب) أمونيا (ج) نيترات (د) ميثان.
13. الكائنُ الحيُّ الذي يتطلب الأكسجينَ للبقاءِ على قيدِ الحياة هو (أ) كائنٌ هوائيٌّ إجباري (ب) كائنٌ لاهوائيٌّ اختياريٌّ (ج) كائنٌ هوائيٌّ اختياريٌّ (د) كائنٌ لاهوائيٌّ إجباري.
14. يمكنُ لإعادةِ الدمجِ الوراثيِّ أن تتمَّ في البكتيريا خلالَ عمليةِ (أ) الاقتران (ب) تشكيلِ الحويصلةِ المتباينة (ج) الانشطارِ الثنائي (د) إنتاجِ البوغِ الداخلي.

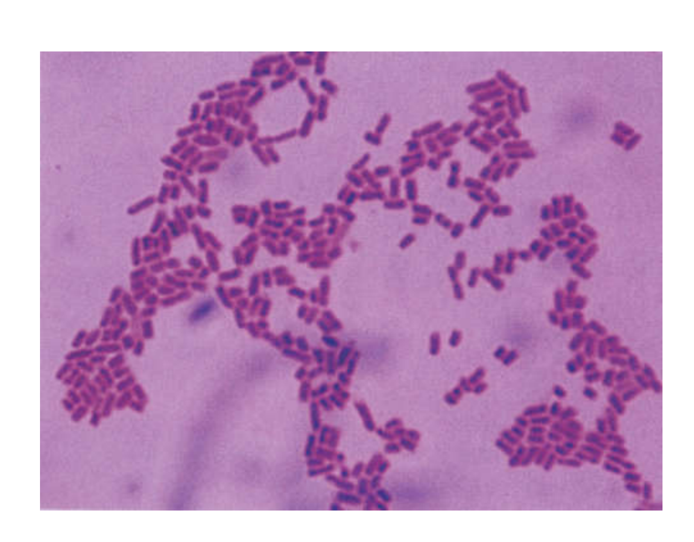
## إجابةٌ قصيرة

15. أيُّ بكتيريا تتصفُ بحركةِ تنقُّلٍ دورانية؟
16. اذكرْ خاصةً مميزةً لكلٍّ من المجموعاتِ الثلاثِ الرئيسةِ للبكتيريا القديمةً.
17. لماذا لم تعدِ البكتيريا الخضراءُ المزرقّةُ مُصنَّفةً بين الطحالب؟
18. صِفْ محفظةَ بكتيريا، وصِفْ وظيفتَها.
19. وضح كيف تساهمُ البكتيريا المترمِّمةُ في إعادةِ تدويرِ الموادِّ الغذائيةِ في المحيطِ البيئي.
20. كيف تقومُ الكائناتُ ذاتيةُ التغذيةِ الكيميائية بجمعِ الطاقةِ من محيطِها البيئيّ؟
21. صفْ طريقةَ تمكُّنِ البكتيريا من تبادلِ المعلوماتِ الوراثية.
22. حدِّدِ العمليةَ الأيضيةَ التي تستخدمُها البكتيريا في صنعِ منتجاتٍ غذائيةٍ كالمخلّلات.
23. اذكر بعضَ الأمراضِ التي تتسببُ فيها البكتيريا، واذكرِ الأعضاءَ التي تصابُ بها.
24. ضعْ تسمياتٍ لأجزاءِ البكتيريا التالية.



## تفكيرٌ ناقد

1. يعملُ البينيسيلين من خلال اعتراضِه قدراتِ البكتيريا على تكوينِ الجدارِ الخلويِّ المؤلفِ من الببتيدوجلايكان بزيادةِ الوحداتِ البنائية. بالاستنادِ إلى هذا الواقع، وضحْ السببَ الذي يَجعلُ البكتيريا الموجبةَ لصبغةِ كرام أكثرَ حساسيةً تجاهَ تأثيراتِ البينيسيلين من البكتيريا السالبةِ لصبغةِ كرام.
2. بعضُ البكتيريا التي تتواجدُ عادةً في أمعاءِ الإنسانِ تفيدُ الإنسان. على سبيل المثال، تُنتجُ البكتيريا *E.coli* الفيتامين *K*، إلاّ أن هذه البكتيريا قادرةٌ أيضًا على التسببِ في الإسهالِ في ظلِّ ظروفٍ استثنائية، كما يمكنُها أن تتسببَ في إصاباتٍ بليغةٍ إذا اجتاحتْ أجزاءً أخرى من الجسم. وهناك بكتيريا أخرى تتواجدُ في الجهازِ الهضميِّ ولا تُنتجُ موادَّ يمكنُ للجسمِ أن يستخدمَها، كما أنها لا تُنتجُ موادَّ مؤذية. ما الدورُ الإيجابيُّ الذي يمكنُها أن تقومَ به؟
3. تتصفُ المجتمعاتُ الأحيائيةُ في المنافذِ ذاتِ الحرارةِ المرتفعة، في مناطِقَ من المحيطِ ذاتِ حرارةٍ مفرطة، ومواقعَ مفتوحةٍ من القشرةِ الأرضية، بأنها أكثرُ الجماعاتِ الأحيائيةِ المعروفةِ كثافةً وإنتاجية. ما الذي يمكنُ أن يفسرَ ذلك؟
4. في السنواتِ العشرينَ الأخيرةِ، ازدادَ عددُ البكتيريا المسببةِ للأمراضِ والمقاومةِ للمضاداتِ الحيويةِ بشكلٍ مطَّرد. هناك اعتقادٌ بأن ذلك يرجعُ إلى استخدامِ المرضى والأطباءِ المفرطِ للمضاداتِ الحيويةِ من قبل. يميلُ الأطباءُ إلى الإفراطِ في إعطاءِ وصفاتٍ طبية بالمضاداتِ الحيوية للمرضى الذين يطلبونَ علاجًا سريعًا. وهو ما دعا منظمةَ الصحةِ العالمية *WHO* إلى وضعِ قاعدةِ بياناتٍ شاملةٍ في الحاسوبِ الآلي بحيث يمكنُ للأطباءِ أن يُفيدوا بتقارير عن حالاتِ اتساعِ وانتشارِ المقاومةِ للمضاداتِ الحيوية. ما الفوائدُ النظريةُ الكامنةُ لقاعدةِ البياناتِ تلك ؟
5. تفحّصِ الصورةَ الفوتوغرافيةَ التاليةَ لبكتيريا جرتْ معالجتُها بصبغةِ جرام. هل يمكنُكَ طرحُ فرضيةٍ تقولُ بأن تلك البكتيريا تُنتجُ سمومًا داخلية ؟ أجبْ بشكلٍ واضح.

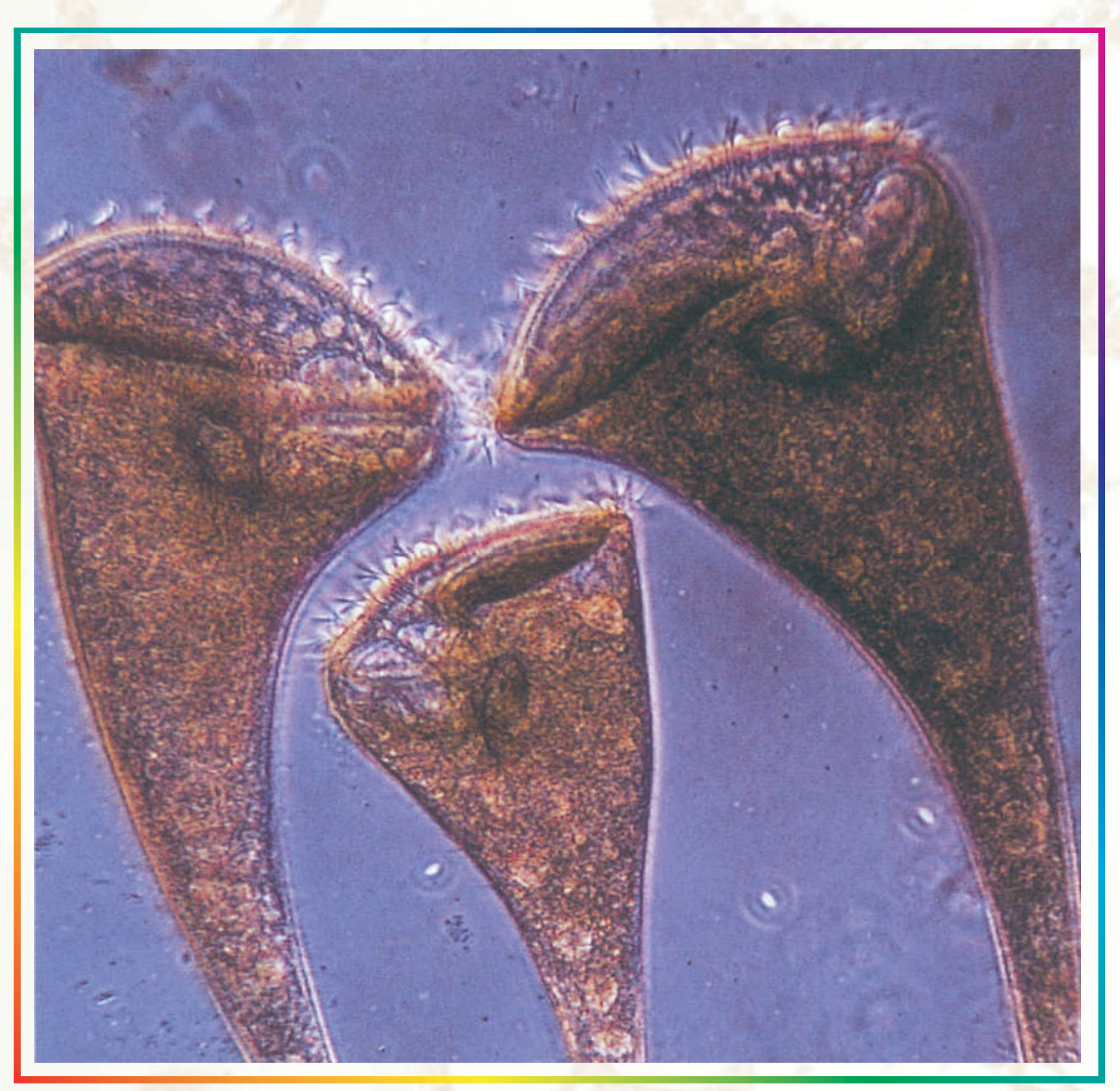


## توسيعُ آفاقِ التفكير

1. ابحث حولَ استخدامِ البكتيريا، سواءٌ على صعيدِ معالجةِ الأطعمةِ أو معالجةِ المياهِ العادمة، وحرِّرْ تقريرًا بذلك.

الفصـــل 7

# الطلائعيّات



يُظهرُ الكائنُ الطلائعيُّ ستانتور Stentor، خاصّتَينِ من خصائصِ الأوّليات، هما: أنها أحاديةُ الخليّةِ، وتفتقرُ إلى تمايُزِ الأنسجة.



**المفهومُ الرئيس:** التركيبُ والوظيفة

وأنت تقرأ، لاحظِ اختلافَ الطلائعياتِ الكبيرِ في الشكلِ والحجمِ والتركيب والتكيفات، ولاحظِ الصفاتِ المشتركةَ بينها.

# الأوّليّات

تحتوي مملكةُ الطلائعيّات Protista على مجموعةٍ متنوعةٍ منَ الكائناتِ حقيقيّةِ النواة تفتقرُ إلى الأنسجةِ الحقيقيّة. وتُقسمُ الطلائعيّاتُ، بالاستنادِ إلى طُرُقِ تغذيتِها (وهي ذاتيّةُ التغذية أو غيرُ ذاتيّةِ التغذية أو امتصاصيّة) إلى ثلاثِ مجموعاتٍ هي: الأوّليّاتُ أو الكائناتُ الشبيهةُ بالحيوان، والطحالبُ أو الكائناتُ الشبيهةُ بالنبات، والفطرياتُ غيرُ الحقيقيّة أو الكائناتُ الشبيهةُ بالفطريّات.

مُعظمُ الطلائعيّاتِ وحيدةُ الخليّة، وبعضُها متعدّدُ الخلايا. تُوجدُ الطلائعيّاتُ حرّةً في البيئاتِ المائيّةِ أو التربةِ الرطبة، وتعيشُ مُتطفّلةً أو مُتكافلةً مع كائناتٍ أُخرى. تتحرّكُ الطلائعيّاتُ بواسطةِ الأهدابِ أو الأسواطِ أو الأقدامِ الكاذبة، أو بحركةِ الانزلاق. وتتكاثرُ مُعظمُ الطلائعيّاتِ لاجنسيًّا.

القسم

1-7

## مُؤشّراتُ الأداء

- يُوضحُ الخصائصَ العامّةَ للأوّليّات.
- يُحدّدُ دورَ بعضِ الأوّليّاتِ في النُّظُمِ البيئيةِ المائيّة.
- يُحدّدُ ثلاثةَ أمراضٍ في الإنسانِ تسبّبُها طلائعيات.
- يصفُ نوعًا من التكاثرِ الجنسيِّ في الهدبيات.
- يُسمّي تكيُّفًا يمكّنُ بعضَ الأوّليّاتِ الحيوانيّةِ منَ العيشِ في ظلِّ ظروفٍ بيئيةٍ شديدةِ القسوة.
- يوجزُ دورةَ حياةِ البلازموديوم.

## الخصائصُ العامّةُ للأوّليات

**الأوّليات Protozoa** كائناتٌ حيّةٌ مجهريةٌ أحاديةُ الخلية. ومعظمُها غيرُ ذاتيِّ التغذية، يبتلعُ جُزيئاتٍ صغيرةً أو خلايا. يتمُّ تفكيكُ هذه الجُزيئاتِ داخلَ **فجواتٍ غذائية Food vacuoles** وهي تجاويفُ محاطةٌ بأغشيةٍ تحتوي على أنزيماتٍ هاضمة.

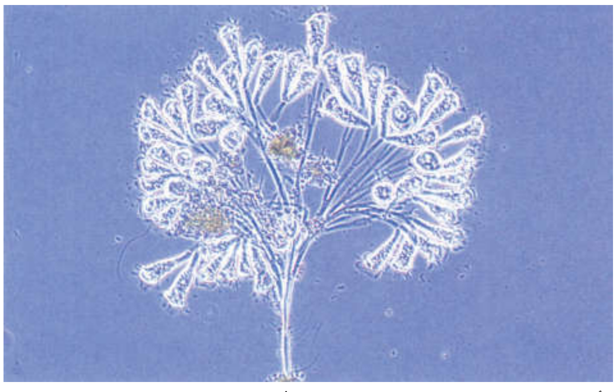
يعيشُ الكثيرُ منْ أنواعِ الأوّليّاتِ حُرًّا، في بيئاتٍ مائيةٍ أو في التربة. والعديدُ من الأنواعِ يشكّلُ **العوالقَ الحيوانيّة Zooplankton**، التي تكوِّنُ أحدَ المصادرِ الأُولى للطاقةِ في النظُمِ البيئيّةِ المائيّة. وتسبِّبُ أنواعٌ عديدةٌ من الأوّليّاتِ الطُّفيليّةِ أمراضًا خطيرةً ومتنوّعةً في الإنسان، كالملاريا والزُّحارِ الأميبيِّ ومرضُ النومِ الإفريقي. تحافظُ الأوّليّاتُ التي تعيشُ في المياهِ العذبةِ على الاتّزانِ الداخليّ، وتتخلّصُ الخليّةُ منْ فائضِ الماءِ عن طريقِ الفجوةِ المنقبضة.

### التكاثُر

تتكاثرُ معظمُ الأوّلياتِ لاجنسيًّا، عنْ طريقِ الانشطارِ الثنائيِّ أو **الانشطار المتعدد Multiple fission**، الذي ينتجُ عنهُ العديدُ من الأفرادِ المتماثلة. ويُمكنُ لبعضِ الأنواعِ أنْ تتكاثرَ جنسيًّا عبرَ **الاقتران Conjugation**. وفي أثناءِ الاقترانِ يشكِّلُ أفرادٌ من الأوّليات أزواجًا متقابلةً تتبادلُ الموادَّ الوراثيّة.

### التكيُّفات

يمتلكُ العديدُ منَ الأوّليّاتِ منطقةً منَ الصِّبْغِ تُسمّى **البُقعةَ العينيّة Eyespot**، تتأثَّرُ بالتغيُّراتِ في نوعيّةِ الضوءِ وكميّته. وبعضُ الأوّليّاتِ تتأثرُ أيضًا عن طريقِ اللمسِ بالتغيُّراتِ الفيزيائيّةِ والكيميائيّةِ المحيطةِ بها. معظمُ الأوّليّاتِ قادرةٌ على تكوينِ حويصلة Cyst،

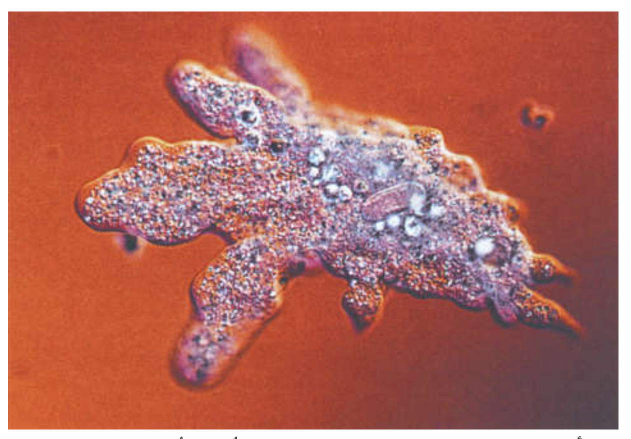



(أ) زوثامنيوم *Zoothamnium*: كائنٌ حيٌّ هدبي

(ب) بلازموديوم *Plasmodium*: كائنٌ حيٌّ بوغي



(ج) تريكوموناس فاجيناليس *Trichomonas vaginalis*: كائنٌ حيٌّ سوطي



(د) أميبا بروتيس *Amoeba proteus*: كائنٌ حيٌّ جذريٌّ القدم

**الشكل 1-7**
هذه الكائناتُ أمثلةٌ على الشُّعَبِ الأربعِ للأوّليّات.

تشكِّلُ غطاءً خارجيًّا قاسيًا، تبقى فيهِ الأوّليّاتُ في حالةِ سُبات استجابةً للتغيّراتِ في المحيطِ البيئيّ.

## التصنيف

يتمُّ تصنيفُ الأوّليّاتِ في أربعِ شُعَب: شُعبةِ جذريّاتِ القَدَمِ Sarcodina، شعبةِ الهدبيّات Ciliophora، شعبةِ السوطيّات Zoomastigina، وشعبةِ البَوغيّات Sporozoa. يلخِّصُ الجدول 1-7 خصائصَ الشُّعَبِ الأربعِ، مع أجناسٍ ممثلةٍ لها.

**الجدول 1-7 ملخّصٌ للأوّليّات**

| الشعبة | الاسمُ الشائع | وسيلةُ التنقّل | نوعُ التغذية | الجنسُ الذي يمثِّلُها |
|---|---|---|---|---|
| جذريّاتُ القدم | السركودينات | أقدامٌ كاذبة | غيرُ ذاتيةِ التغذية، وبعضُها طُفيليّ | الأميبا<br>الشعاعيات |
| الهدبيات | ذواتُ الأهداب | أهداب | غيرُ ذاتيةِ التغذية، وبعضُها طُفيليّ | البراميسيوم |
| السوطيات | ذواتُ الأسواط | أسواط | غيرُ ذاتيةِ التغذية، وبعضُها طُفيليّ | التريبانوسوما |
| البوغيات | ذواتُ الأبواغ | (لا وسيلة للبالغ) | غيرُ ذاتيةِ التغذية، وبعضُها طفيليّ | البلازموديوم |

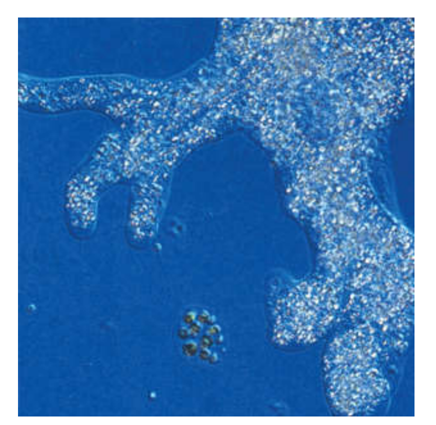
# شُعبةُ جذريّاتِ القَدَم

تشتملُ جذريّاتُ القَدَم Sarcodina، على مئاتٍ منْ أنواعِ الأميبا التي تعيشُ في المياهِ العذبةِ والمالحة، أو في التربة. منْ مثلِ الأميبا الظاهرةِ في الشكل 7-2. إلا أنّ بعضَ أنواعِها، كمثلِ أنتاميبا هِسْتوليتيكا *Entamoeba histolytica*، يعيشُ متطفِّلاً داخلَ أمعاءِ الإنسان، ويُحدِثُ مرضًا قاتلاً يسمّى **الزُّحارَ الأميبيَّ Amebic dysentery**. تدخلُ هذه الأميبا الجسمَ عبرَ الطعامِ والماءِ الملوَّثَيْن، ثُمَّ تنتقلُ إلى الدمِ والكَبِدِ وإلى أعضاءٍ أُخرى.

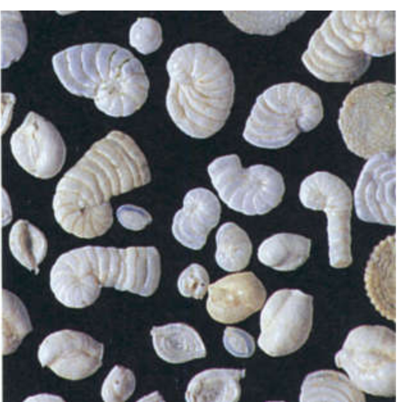
تتحرّكُ جذريّاتُ القَدَمِ عنْ طريقِ **الأقدامِ الكاذبة Pseudopodia**، وهي امتداداتٌ سيتوبلازميّة تتكوّنُ عندما يقومُ **الإندوبلازم Endoplasm** أي القسمُ الداخليُّ من السيتوبلازم بدفعِ **الإكتوبلازم Ectoplasm**، أي الطبقةِ الخارجيّة، إلى الأمام، لتشكّلَ امتدادًا يُشبِهُ الذِراع. يُسمّى هذا النمطُ منَ الحركةِ **الحركةَ الأميبيّة Ameboid movement**، وهو مُبيّنٌ في الشكل 7-2.

كذلكَ تستخدِمُ جذرياتُ القَدَمِ الأقدامَ الكاذبةَ في التغذية، فتُحيطُ الغذاءَ بأقدامِها الكاذبة، وتبتلعُه عبرَ عمليّةِ الإدخالِ الخَلَويّ.

لبعضِ الأوّليّاتِ **أصدافٌ Tests**. من تلك الأوّليّاتِ **المثقَّبات Foraminifera** (الشكل 7-3)، التي تعيشُ في المحيطات، وأصدافُها مكوّنةٌ منْ كربونات الكالسيوم. **والشعاعيات Radiolarians** (الشكل 7-4) التي تعيشُ في المياهِ الضحلة، وأصدافُها مكوَّنةٌ منْ ثاني أُكسيد السيليكا. غاصتْ أصدافُ هذه الكائناتِ إلى قيعانِ المياه، حيث كوّنتْ طبقةَ ترسّباتٍ جيريّةٍ وطباشيرية ظهرتْ على صورةِ أرضٍ يابسة.



**الشكل 7-2**
تتميّزُ جذريّاتُ القدمِ بامتدادات سيتوبلازميّة تُسمّى الأقدامَ الكاذبة. بدفعِ الأقدامِ الكاذبةِ إلى الخارج، يُمكنُ لجذريّاتِ القدمِ أنْ تتنقّلَ عبرَ مساحةٍ ما وتصطادَ فريسة. (240 ×)



**الشكل 7-3**
في الماضي سكنَتِ المثقَّباتُ داخلَ هذه الأصدافِ الصلبة.



**الشكل 7-4**
تشتملُ شعبةُ جذريّاتِ القدَمِ على الشعاعيات، ومنها الصنفُ الظاهرُ في هذا الشكل، وهي أيضًا مغلفةٌ بصدفةٍ واقية.

# شُعبةُ الهُدبيّات

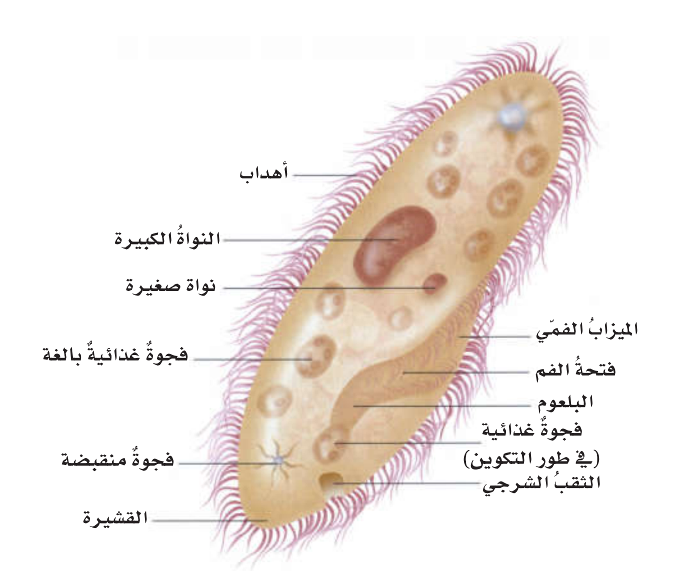
تمتلكُ الهُدبيّاتُ Ciliophora أهدابًا، وهي نتوءاتٌ سيتوبلازميّةٌ قصيرة، على شكلِ شعيرات، تغطي الغشاءَ الخلَويّ. تُستخدَمُ الأهدابُ للحركةِ في الماءِ أو لدفعِ الهواء. تخبطُ الهدبياتُ الشعيراتِ بضرباتٍ متزامنة، فتُحدِثُ أمواجًا تمرُّ عبرَ الخليةِ فتجعلُها تدورُ حولَ محورِها. تعيشُ الهُدبيّاتُ في البِرَكِ ومجاري المياهِ البطيئةِ الجريان، التي تحتوي على نباتاتٍ وموادَّ عضويّةٍ مُتحللة. يمثِّلُ البراميسيوم Paramecium، الظاهرُ في الشكل 7-5، هذه المجموعةَ منَ الأوّليات.

التركيبُ الداخليُّ للبراميسيوم، كما في الشكل 7-6، يكشفُ عن وجودِ طبقةٍ بروتينيّةٍ تحيطُ بالبراميسيوم تُسمّى **القُشَيْرَة Pellicle**. تُشكّلُ القُشيرةُ منخفضًا على شكلِ قمعٍ يُسمّى **الميزابَ الفمّي Oral groove** تحيطُ بِهِ الأهدابُ التي تساهمُ حركتُها في دفعِ الجزيئاتِ داخلَ **فتحة الفم Mouth pore** التي تؤدي إلى **البلعوم Gullet** الذي يشكّلُ فجوةً غذائيّةً تدورُ في السيتوبلازم. للبراميسيوم **ثقبٌ شرجي Anal pore** تُطرحُ منه الموادُّ التي لم يتمّ هضمُها.

وتتّصفُ أفرادُ الهُدبيّاتِ بأن لها، على الأقلّ، نوعَين من الأنوية: **النواةُ الكبيرة Macronucleus** التي تتحكّمُ في وظائفِ الأيضِ والنموّ، وهي ضروريّةٌ للتكاثرِ اللاجنسي. **والنواةُ الصغيرة Micronucleus** التي تُسهمُ، أثناءَ عمليةِ الاقتران، في تبادلِ الموادِّ الوراثيةِ بينَ الأفراد.



**الشكل 7-5**
كباقي الهدبيات، ينتقلُ هذا البراميسيوم بواسطة نتوءاتٍ قصيرة، على شكل شعيراتٍ، تسمّى الأهداب.

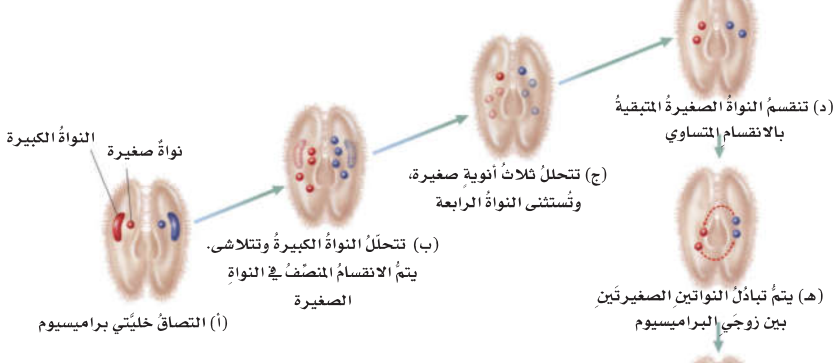



**الشكل 7-6**
للبراميسيوم نوعان من الأنوية: نواةٌ كبيرةٌ واحدة، ونواةٌ أو عدةُ أنوية صغيرة. وله ميزابٌ فمّيٌّ وفتحةُ فم وبلعوم، يتمُّ عبرَها دفعُ الجزيئات الغذائية بواسطة تيارات تولّدُها الأهدابُ بحركاتها المتناسقة. وله كذلك ثقبٌ شرجيٌّ تُطرحُ به من الفجواتِ الغذائية، الفضلاتُ التي لم يتمّ هضمُها.

## التكاثُر

يتمُّ التكاثُر اللاجنسيُّ لدى الهُدبيّاتِ عنْ طريقِ الانشطارِ الثنائيّ. تنقسمُ النواةُ الصغيرةُ انقسامًا مُتساويًا، وتستطيلُ النواةُ الكبيرة، ثم تنشطرُ إلى نصفَين، ويتوجّهُ كلُّ نصفٍ منها إلى خليّةٍ جديدة.

يتمُّ التكاثُر الجنسيُّ عبرَ عمليّةِ الاقتران. يبيّنُ الشكل 7-7 خطواتِ عمليّةِ الاقترانِ في البراميسيوم.




**الشكل 7-7**
يتكاثرُ البراميسيوم عنْ طريقِ الاقتران، وهو شكلٌ من التكاثرِ الجنسيّ، يتمُّ فيه تبادلُ موادَّ وراثيّةٍ ما بينَ الفردينِ المتزاوجَين معًا.

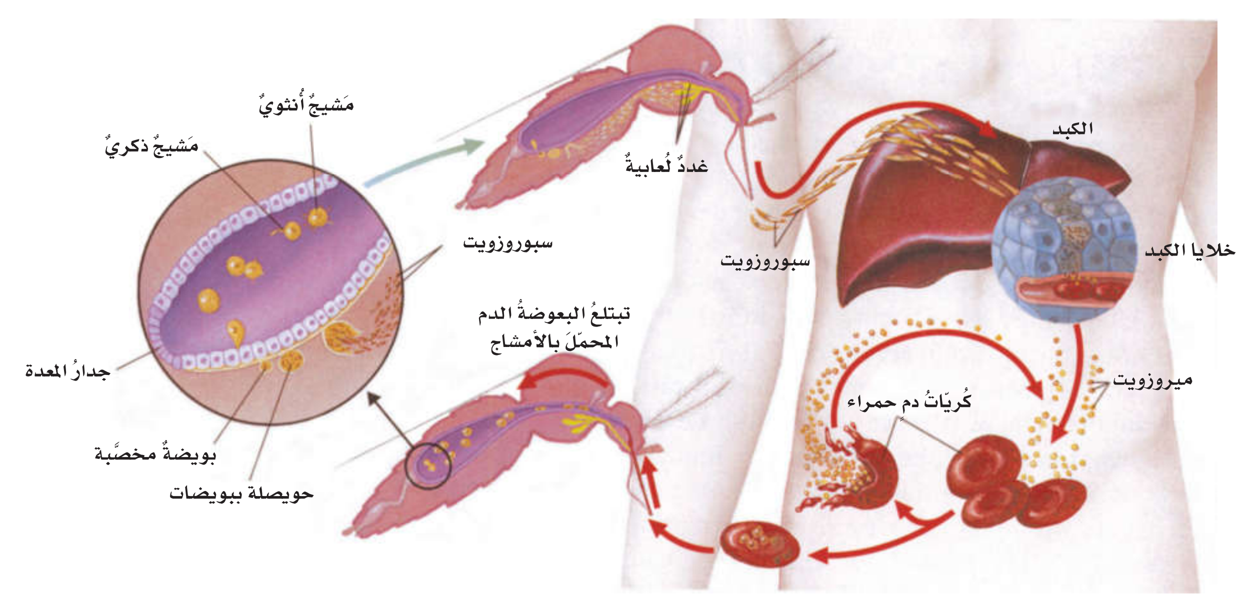
# شُعبةُ السَّوطيات

تتّصفُ السَّوطيات Zoomastigina بأن لها سوطًا واحدًا أو عدّةَ أسواط. وهيَ تراكيبُ على شكلِ زوائدَ طويلةٍ تُستخدمُ للحركة. الحركةُ السوطية (الموجية) تدفعُ أو تسحبُ الكائنَ عبرَ الماء. ويعيشُ الكثيرُ منَ السوطيّاتِ في مياهِ البحيراتِ والبرَك.

بعضُ السوطياتِ طُفيليّة، وتسبّبُ الأمراض. فالتريبانوسوما *Trypanosoma*، مثلاً تسبِّبُ مرضَ **النومِ الأفريقيّ Trypanosomiasis**، الذي تنقلُهُ ذبابةُ تِسِي تِسِي Tsetse.

# شُعبةُ البَوغيّات

تتّصفُ النماذجُ البالغةُ منَ البَوغيّات Sporozoa بافتقارِها إلى عضيّاتٍ للحركة. ومعظمُ أنواعِ البوغيات طُفيليّة، ذاتُ دوراتِ حياة، تنتجُ خلالَها أبواغًا وتتطلّبُ عائلاً ناقلاً أو أكثر.




**الشكل 7-8**
يظهرُ هنا جنسٌ منَ الأوَّليّاتِ البَوغيّة يتسببُ في مرضِ الملاريا، هو البلازموديوم. ينتقلُ هذا الجنسُ من شخصٍ عائلٍ إلى آخر بواسطةِ أنثى بعوضةِ أنوفيليس. يشكو العائلُ من نوباتِ بردٍ وحُمّى كلّما انفجرتْ خلايا الدمِ الحمراءُ المصابَةُ وأطلقتِ الطُفيليّاتِ التي تكاثرتْ في داخلِها. بعضُ الطفيليّاتِ تتحوّلُ إلى أبواغٍ تلتقطُها بعوضةُ أنوفيليس غيرُ مصابةٍ عندَ قيامِها بلسعِ العائل.

## البلازموديوم

البلازموديوم *Plasmodium* كائنٌ بوغيٌّ يسبِّبُ لدى الإنسانِ مرضَ **الملاريا Malaria**، وهو مرضٌ خطيرٌ جدًّا، قد يؤدي إلى الوفاةِ بسببِ فقرِ الدم، وقصورٍ في الكلى، وإصابةِ الدماغِ بأضرار. يعالَجُ مرضُ الملاريا عادةً بدواءِ الكينين الذي يُستخرجُ من أشجارِ الكينا. وينتقلُ هذا المرضُ بواسطةِ أنثى بعوضِ الأنوفيليس *Anopheles*. تبدأ الإصابةُ بِلَسْعِ البعوضةِ الحاملةِ لبلازموديوم شخصًا ما، فتنتقلُ **السبوروزويت Sporozoite** من لُعابِ البعوضةِ إلى خلايا الكَبِد عن طريقِ الدم، حيثُ ينقسمُ باستمرار، ويكوّنُ أبواغًا تُسمّى **ميروزويت Merozoites**. تصيبُ الميروزويت خلايا الدمِ الحمراء، وتتكاثرُ فيها لاجنسيًّا. تنفجرُ خلايا الدمِ الحمراءُ، فتخرجُ الميروزويت وتُطلقُ موادَّ سامّةً تسبّبُ الحُمّى وفقرَ الدم.

وتتحوّلُ بعضُ أبواغِ الميروزويت في الدمِ إلى **خلايا مَشيجيّة Gametocytes**. وعندما تلسعُ أُنثى البعوضةِ شخصًا مُصابًا تنتقلُ الخلايا المشيجيّةُ إلى الجهازِ الهضميِّ للبعوضة. وتتّحدُ الأمشاجُ الذكريّةُ بالأمشاجِ الأُنثويّةِ لتتكوّنَ البويضاتُ المخصَّبة. وتنقسمُ نواةُ البويضةِ المخصَّبةِ مرارًا لتنتجَ السبوروزويت التي تَنتقلُ إلى الغددِ اللعابيّةِ في البعوضة. يلخّصُ الشكل 7-8 دورةَ حياةِ البلازموديوم.

## مراجعةُ القسم 7-1

1. ما الخصائصُ العامةُ للكائناتِ الحيةِ في مملكةِ الطلائعيات؟
2. ما الأوليات؟ كيف تتكاثر؟ أيّ أنواعٍ من الأوساطِ البيئيةِ تقطن؟
3. ما الدورُ الذي تقومُ به بعضُ الأولياتِ في المحيطِ البيئيِّ المائي؟
4. ما الأقدامُ الكاذبة؟ ما الوظيفةُ التي تقومُ بها في جذرياتِ القدم؟
5. ما الاقتران؟ ما أهميتُهُ في هدبياتٍ كالبراميسيوم؟
6. **تفكيرٌ ناقد** كيف يمكنُ للعاملينَ في المجالِ الصحيِّ التحكمُ في الأمراضِ التي تُسبِّبُها الأوّليات؟

القســــم

# 2-7

## مؤشّراتُ الأداء

▲ يوضحُ الخصائصَ العامةَ للطحالب.

● يصفُ التراكيبَ الجسميّةَ المتنوعةَ للطحالب.

■ يُحدِّدُ أسسَ تصنيفِ الطحالبِ في سبعِ شُعَب.

◆ يُلخِّصُ أحداثَ التكاثُرِ اللاجنسيّ والتكاثُرِ الجنسيّ في طحلبٍ أحاديِّ الخليّةِ وطُحلبٍ عديدِ الخلايا.

▲ يعلِّلُ تنوّعَ شُعبةِ الطحالبِ الخضراء.

● يبيِّنُ الأهميةَ الاقتصاديّةَ للطحالب.

■ يُناقشُ سببَ اعتبارِ اليوجلينا كائنًا أوّليًّا وطحلبًا في وقتٍ واحد.

# الطحالب

**الطحالبُ كائناتٌ حيّةٌ شبيهةٌ بالنبات، وتنتمي إلى مملكةِ الطلائعيّات. مُعظمُ أنواعِ الطحالبِ تقريبًا أحاديةُ الخليّة، لكن بعضَها كبيرُ الحجمِ وعديدُ الخلايا. تختلفُ الطحالبُ عن الأوليّاتِ من حيث أنّها ذاتيّةُ التغذية. وتشكِّلُ الشُّعبُ السبعُ للطحالبِ مثالاً واضحًا للتنوّع.**

## الخصائص

الطحالبُ مجموعةٌ متنوّعةٌ منَ الطلائعيّات. معظمُها وحيدُ الخليّةِ، وبعضُها عديدُ الخلايا كأعشابِ البحرِ الكبيرة. **والطحالبُ Algae**، كائناتٌ ذاتيّةُ التغذية، لديها بلاستيداتٌ خضراءُ، وتُنتجُ الكربوهيدرات عن طريقِ البناءِ الضوئيّ.

مُعظمُ الطحالبِ كائناتٌ حيّةٌ مائيّةٌ تكونُ مزوّدةً بأسواطٍ في مرحلةٍ معيَّنةٍ من دورةِ حياتِها وغالبًا ما تحتوي خلاياها على عضيّاتٍ تسمّى **بيرينويدات Pyrenoids**، وهذه تقومُ ببناءِ النَّشاءِ وتخزينِه.

## التركيب

يُسمّى جسمُ الطُّحلبِ **ثالوس Thallus**. وتقسمُ الطحالبُ، تبعًا لقاعدةِ تراكيبِها الجسميّة، إلى أربعةِ أنواع، هي:

**الطحالبُ الأحاديّةُ الخليّة Unicellular algae**، وهي مُكوّنةٌ من خليّةٍ وحيدة. تعيشُ مُعظمُ هذه الطحالبِ في الماءِ، وتكوِّنُ **العوالقَ النباتيّة Phytoplankton**، التي تقومُ بالبناءِ الضوئيّ، فتشكّلُ مصدرًا رئيسًا للموادِّ الغذائيّةِ للكائناتِ الحيّةِ المائيّة، وللأُكسجين الجويّ. يظهرُ في الشكل 7-9 أ الكلاميدوموناس *Chlamydomonas*، وهو مثالٌ لطحلبٍ أحاديِّ الخليّة.

**الطحالبُ المستعمريّة Colonial algae**، وهي مثلُ فولفوكس *Volvox* المبيّن في الشكل 7-9 ب، تتكوَّنُ من مجموعاتٍ من الخلايا تعملُ بطريقةٍ تناسقيّة.

**الطحالبُ الخيطيّة Filamentous algae**، وهي مثلُ السبيروجيرا *Spirogyra*، المبيّنةِ في الشكل 7-9 ج، تتكوَّنُ أجسامُها من صفوفٍ منَ الخلايا.

**الطحالبُ عديدةُ الخلايا Multicellular algae**، وهي ذاتُ جسمٍ معقّدٍ وكبيرٍ في الغالب، مثل طحلبِ ألفا *Ulva*، المبيّن في الشكل 7-9 د، ويشبهُ في شكلِه وَرَقَ النبات.

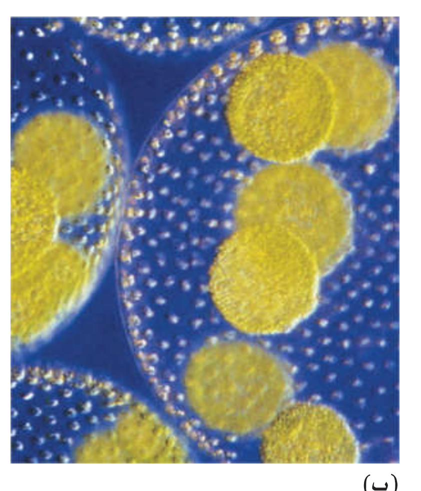
### جذرُ الكلمةِ وأصلُها

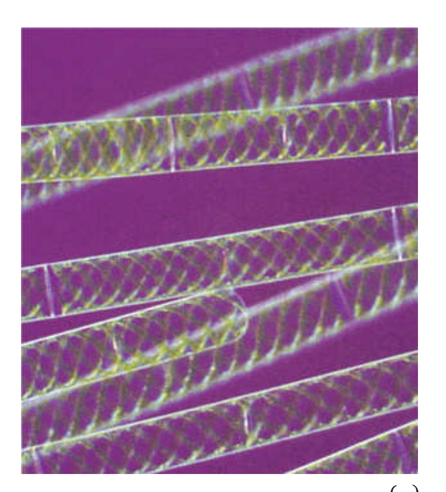
**الطحالب**

**algae**

من اللاتينيّةِ **alga**، ومعناها «عشبُ البحر»


(أ)

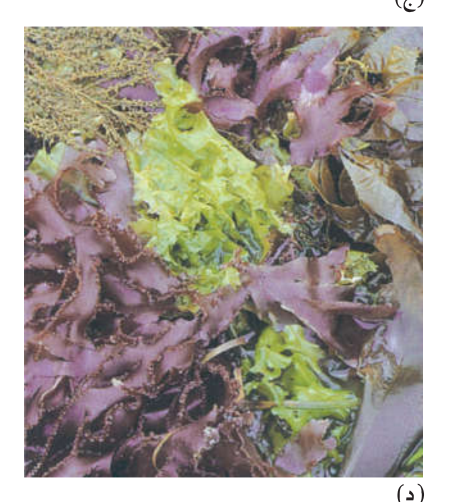

(ب)


(ج)

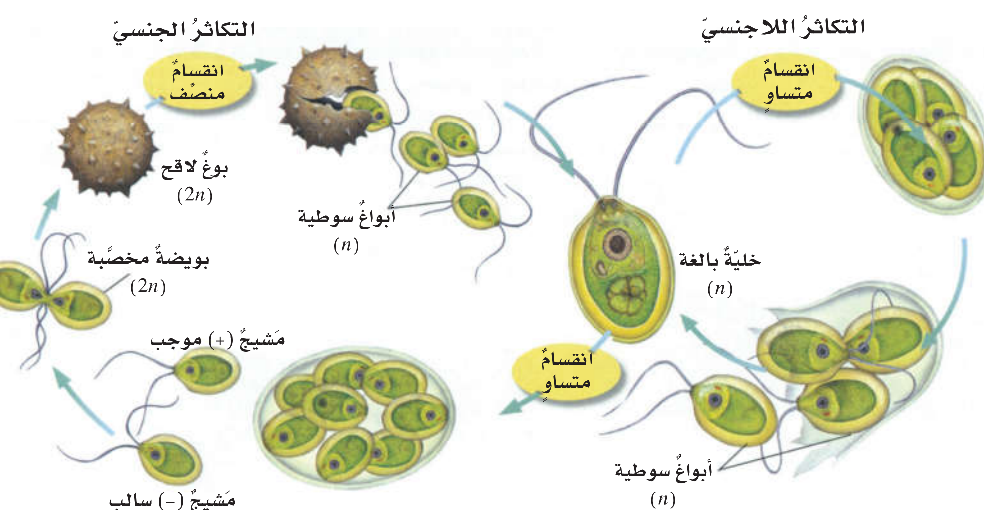
## التكاثر

يتكاثرُ العديدُ من الطحالبِ جنسيًّا ولاجنسيًّا. يبيّنُ الشكل 7-10 التكاثرَ الجنسيَّ واللاجنسيَّ لدى الطحلبِ الأخضرِ الأحاديِّ الخليّةِ، المسمّى كلاميدوموناس *Chlamydomonas*. أثناءَ التكاثُرِ اللاجنسيّ، يمتصُّ الكلاميدوموناس البالغُ أحاديُّ المجموعةِ الكروموسومية ($1n$) السوطَ الذي لديه. وبعد ذلك تنقسمُ الخليّةُ عن طريق الانقسامِ المتساوي، فتنتجُ خلايا سوطيّةٌ أحاديةُ المجموعةِ الكروموسومية تُسمّى **الأبواغَ السَّوطيّة Zoospores**. تغادرُ الأبواغُ الخليّةَ الأُمَّ وتنمو حتّى تبلغَ حجمَها الكامل.

يبدأُ التكاثُر الجنسيُّ في الكلاميدوموناس بخلايا أحاديةِ المجموعةِ الكروموسومية، تقومُ بالانقسامِ المتساوي، لتنتجَ أمشاجًا موجبةً وسالبة، أحاديةَ المجموعةِ الكروموسومية. يتّحدُ مَشيجٌ سالبٌ مع مَشيجٍ موجِب، ويُشكّلان بُوَيْضةً مخصَّبةً ثنائيةَ المجموعةِ الكروموسومية، تكوِّنُ البويضةُ المخصَّبةُ حولَها جدارًا سميكًا واقيًا، فتُسمّى عندَها **البوغَ اللاقحَ Zygospore**. ثم تقومُ البُويضةُ المخصَّبةُ بالانقسامِ المنصِّف، فينتجُ عددٌ من خلايا كلاميدوموناس أحاديةِ المجموعةِ الكروموسومية. في ظلِّ ظروفٍ مؤاتيةٍ ينفتحُ البوغُ اللاقحُ فتنمو تلك الخلايا حتى تصلَ إلى مرحلةِ الطحلبِ البالغ.


(د)

**الشكل 7-9**
تتّصفُ الطحالبُ بتنوّعٍ في التراكيبِ الجسميّة. (أ) الكلاميدوموناس من النوعِ المزوّدِ بسَوط، وهو كائنٌ أحاديُّ الخليّة (2,905×). (ب) فولفوكس، مثالُ الطحلبِ الأخضرِ المُستعمري (400×). (ج) سبيروجيرا، وهو طحلبٌ أخضرُ ذو جسمٍ خيطيِّ الشكل (291×). (د)، بعضُ الطحالبِ عديدة الخلايا والشبيهة بالصحيفة، كطحلبِ ألفا، الذي يُشبهُ في شكلِهِ وَرقَ نباتٍ رقيق.




**الشكل 7-10**
يتكاثرُ الطحلبُ الأخضرُ أحاديُّ الخليّة، أي كلاميدوموناس، بطريقةٍ لاجنسيّةٍ عبرَ الانقسامِ المتساوي. ويتكاثرُ كذلك بطريقةٍ جنسيّةٍ عندَ التقاءِ الأمشاجِ السالبةِ والموجبةِ واتحادِهما معًا.

## التكاثُر لدى الطحالبِ عديدةِ الخلايا

يختلفُ التكاثرُ في الطحالبِ عديدةِ الخلايا، باختلافِ الشُّعب. يمثّلُ تكاثرُ الطحلبِ الأخضرِ، ألفا، أحدَ أشكالِ التكاثُرِ لدى الطحالبِ عديدةِ الخلايا.

لطحلبِ ألفا دورةُ تكاثُرٍ جنسيٍّ تتّصفُ بنمطٍ يُسمّى **تعاقبَ الأجيال Alternation of generations**. يمرُّ تعاقبُ الأجيال في: طورٍ أحاديٍّ المجموعةِ الكروموسوميّة، يُنتجُ أمشاجًا ويُسمّى **الطورَ المشيجيّ Gametophyte**، وطورٍ ثُنائيِّ المجموعةِ الكروموسوميّة، يُنتجُ أبواغًا ويسمّى **الطورَ البَوغيّ Sporophyte**. للطورِ البَوغيّ البالغ ($2n$) خلايا تكاثريّةٌ تُسمّى **المحفظةَ البوغية Sporangium**، وهي تُنتجُ أبواغًا سوطيّةً ($n$) عن طريقِ الانقسامِ المنصِّف. تنقسمُ الأبواغُ السوطيّةُ عبرَ الانقسامِ المتساوي، وتكوّنُ أبواغًا مُتحرّكةً تستقرُّ على الصخور، وتنمو لتصبحَ أطوارًا مشيجيّةً عديدةَ الخلايا. لاحظْ أنَّ الطورَ المشيجيَّ يبدو مُشابهًا تمامًا للطورِ البَوغيّ. يُنتجُ الطورُ المشيجيُّ أمشاجًا مُوجبةً ($n$) وأمشاجًا سالبة ($n$). تتّحد هذه الأمشاجُ وتُكوّنُ بُويضاتٍ مُخصَّبة ($2n$). تنقسمُ البويضةُ المخصَّبةُ عبرَ الانقسامِ المتساوي لتكوِّنَ طورًا بوغيًّا جديدًا. يلخّصُ الشكل 7-11 التكاثُرينِ الجنسيَّ واللاجنسيَّ في طحلبِ ألفا.

## التصنيف

تصنّفُ الطحالبُ في سبعِ شُعب، اعتمادًا على لونِها ونوعِ الكلوروفيل وشكلِ تخزينِ الغذاء وتكوينِ الجدارِ الخلويّ. كلُّ الشُّعبِ المعروفةِ تحتوي على صبغِ الكلوروفيل أ الذي يمتصُّ الضوءَ لأجلِ البناءِ الضوئيّ. ويوجدُ من الطحالبِ أيضًا أنواعٌ مختلفةٌ تحتوي على أشكالٍ أخرى منَ الكلوروفيل مثلِ الكلوروفيل ب، ج، د. ولبعضِ الشُّعبِ أيضًا أصباغٌ مُساعدة.

نباتٌ بوغي ($2n$)

محفظة بوغية

انقسامٌ منصف

أبواغٌ سوطية ($n$)

نباتٌ مشيجيّ ($n$)

مشيجٌ سالب

مشيجٌ موجب

انقسامٌ متساوٍ

بويضة مخصبة ($2n$)

نبات بوغي ($2n$)

**الشكل 7-11**

يتّصفُ طحلبُ ألفا الأخضرُ عديدُ الخلايا بدورةِ حياةٍ تتميّزُ بتعاقبِ الأجيال. يتساوى طورُها أحاديُّ المجموعةِ الكروموسوميّةِ وطورُها ثنائيُّ المجموعةِ الكروموسوميّةِ من حيثُ مظهرُهما ومدّتُهما الزمنيّة.



(أ)



(ب)

**الشكل 7-12**

المجموعةُ العنقوديّة (أ) هي مثالٌ لطحلبٍ أخضرَ بحريّ. هذه الطحالبُ الخضراءُ موجودةٌ في مختلفِ أنحاءِ العالم. (ب) هناكَ طحالبُ خضراءُ أُخرى، كالطحلبِ الأخضرِ المسمّى بروتوكوكس *Protococcus*، الذي ينمو على هذه الشجرةِ الموجودةِ على اليابسةِ في الأماكنِ الرطبة.

## شُعبةُ الطحالبِ الخضراء

يتّصفُ أفرادُ شُعبةِ الطحالبِ الخضراءِ Chlorophyta بعددٍ منَ الأشكالِ والأنماطِ التكاثريّة. ويُراوحُ تركيبُها الجسميُّ بينَ الخلايا المفردةِ والأشكالِ المستعمرية، فحتى الأشكالِ الخيطيّةِ والصفائحيةِ عديدةِ الخلايا. مُعظمُ الأنواعِ، كالنوعِ الظاهرِ في الشكل 7-12 أ، تعيشُ في الماء. إلا أنَّ بعضَ الأنواعِ، كالنوعِ الظاهرِ في الشكل 7-12 ب، تعيشُ في البيئاتِ الرطبة، كالتربةِ وسطوحِ الصخورِ وسوقِ الأشجار. وبعضُ الأنواعِ تشكِّلُ جزءًا من كائناتٍ حيّةٍ تسمّى الأشنات.

تحتوي الطحالبُ الخضراءُ على الكلوروفيل أ و ب وعلى كاروتينويدات. وهي تخزِّنُ غذاءَها على صورةِ نَشاء. ولديها جدرانٌ خلويّةٌ مكوّنةٌ من السلّيلوز كما في النبات.



**الشكل 7-13**
جنسُ الطحلب *Macrocystis* وهو مثالٌ لشعبةِ الطحالبِ البُنّية. ويُعرفُ كذلكَ باسمِ عُشبِ البحرِ العملاق.

## شُعبةُ الطحالبِ البُنّيّة

مُعظمُ الطحالبِ البُنّية Phaeophyta كائناتٌ بحريّةٌ تشتملُ على كائناتٍ تُشبهُ النباتَ تُسمّى عشبَ البحر. وتعيشُ هذه الطحالبُ غالبًا على طولِ السواحلِ الصخريّة، أو في عرضِ البحر، وهي تحتوي على الكلوروفيل أ و ج، وعلى كميّةٍ كبيرةٍ من الصبغِ البنيِّ الذي يُسمّى **فيوكوزانثين Fucoxanthin**، وتخزنُ الغذاءَ الّذي تُنتجُه على صورةِ **لاميناربن Laminarin**، وهو كربوهيدراتٌ مكوّنٌ من وحداتِ الجلوكوز.

كلُّ الطحالبِ البنّيةِ عديدةُ الخلايا. وهي في مُعظمِها كبيرةُ الحجم، يبلغُ طولُها، في الغالب، ما يزيدُ عن 45 مترًا، ومثالُها الطحلبُ البُنّيُّ الكبير، عشبُ البحرِ العملاقُ المبيّنُ في الشكل 7-13. هذا الطحلبُ تحتوي جدرانُ خلاياهُ على مادّةٍ كربوهيدراتية تُستخدمُ في موادِّ التجميلِ والعقاقيرِ المتنوّعة، كمادّةٍ غذائيّة، وكمادّةٍ مثبّتةٍ في مُعظمِ المثلّجات.

## شُعبةُ الطحالبِ الحمراء

بعضُ الأنواعِ القليلةِ من الطحالبِ الحمراء Rhodophyta تعيشُ في المياهِ العذبةِ أو على اليابسة، إلا أنَّ معظمَها أعشابٌ بحريّة، تعيشُ في أعماقٍ تصلُ إلى 200 مترٍ تقريبًا، ومثالُها الطحلُبُ الأحمرُ المبيّنُ في الشكل 7-14.

تحتوي الطحالبُ الحمراءُ على الكلوروفيل أ وعلى أصباغٍ حمراءَ وزرقاءَ تُسمّى **فايكوبيلين Phycobilins**. وهذه الأصباغُ تلعبُ دورًا مهمًّا في امتصاصِ الأطوالِ الموجيّةِ للضوءِ التي تخترقُ أعماقَ المياه. وهي مهمةٌ لعمليّةِ البناءِ الضوئيّ، إذ تسمحُ للطحالبِ بالعيشِ في أعماقِ البحار.

وتحتوي الجدرانُ الخلويّةُ لبعضِ الطحالبِ الحمراءِ على مادّةٍ عديدةِ التسكُّر تُسمّى كاراجينان **Carageenan** ، وهي تُستخدَمُ في صنعِ موادِّ التجميلِ والكبسولاتِ الجيلاتينيّةِ وبعضِ أنواعِ الجُبن. وكذلك تحتوي على الأجار **Agar**، الذي يُستخدمُ لزرعِ البكتيريا.



**الشكل 7-14**
على الرغم من أنَّ الطحلبَ الأحمرَ ليس بكبرِ الطحلبِ البُنيِّ حجمًا، فإنَّ هذا الجنس، كورالينا *Corallina* غالبًا ما يُشارُ إليه باسم عشبِ البحر.

## شُعبةُ الطحالبِ العَصَويّة

تشتملُ شُعبةُ الطحالبِ العصويةِ Bacillariophyta على أنواعٍ من الكائناتِ الحيّةِ تُسمّى **الدياتومات Diatoms**. الدياتوماتُ وفيرةُ العددِ في المياهِ العذبةِ وفي مياهِ المحيطات. تتكوّنُ جدرانُها الخلويّةُ، التي تُسمّى الأصداف، من قطعتَينِ على شكلِ علبةٍ وغطائِها. وتحتوي الصَّدفَةُ على ثاني أُكسيد السيليكا. يُبيِّنُ الشكل 7-15 أنواعًا من الدياتومات.

تُشكِّلُ الدياتومات مُكوِّنًا وفيرًا من مكوِّناتِ العوالقِ النباتيّةِ، وهي مصدرُ غذاءٍ للكائناتِ الحيّةِ غيرِ ذاتيّةِ التغذية، وتُطلِقُ الأكسجينَ بوفرة. وعند موتِها، تترسَّبُ أصدافُها وتتراكمُ فتشكّلُ طبقةً من الموادِّ، تُسمّى **التربةَ الدياتومية Diatomaceous earth**، وهي مكوِّنٌ رئيسٌ للعديدِ من المنتجاتِ التجاريّة، مثلِ موادِّ التنظيف، وموادِّ إزالةِ الأصباغ، والسمادِ الكيماويّ، والموادِّ العازلة، وبعضِ أنواعِ معجونِ الأسنان.




**الشكل 7-15**

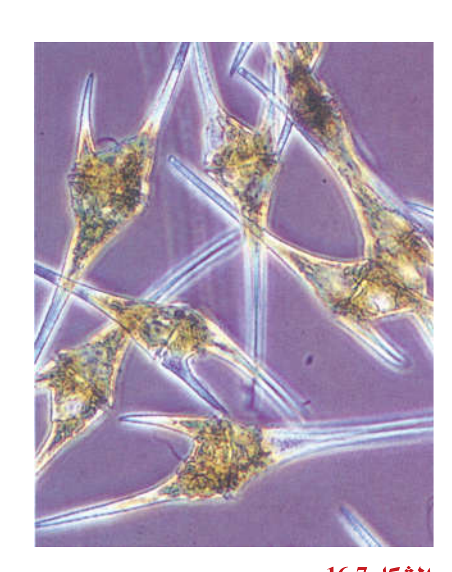
الدياتومات، كتلكَ الظاهرةِ هنا، تتكاثرُ في العادةِ بطريقةٍ لا جنسية. أمّا التكاثرُ الجنسيُّ في الدياتومات فهوَ عمليّةٌ نادرة (×320).

## شُعبةُ الطحالبِ السوطيةِ الدوّارة

الطحالبُ السوطيةُ الدوّارةُ Dinoflagellata كائناتٌ حيّةٌ أحاديّةُ الخليّة، يقومُ مُعظمُها بالبناءِ الضوئيّ. وهي كائناتٌ حيّةٌ منتجةٌ رئيسةٌ للموادِّ العضويّةِ في البيئاتِ البحريّة.

تتّصفُ الطحالبُ السوطيّةُ الدوّارةُ عادةً باللونِ الأخضرِ المصفرِّ إلى البُنّيِّ، لاحتوائِها على أصباغِ الكاروتينويدات والكلوروفيل أ و ج. وتتزوَّدُ مُعظمُ هذه الكائناتِ الحيّةِ بسَوطَينِ يختلفانِ في الطول، كما يظهرُ في الشكل 7-16، فيجعلانِها بحركاتِهما تدورُ على نَفْسِها في الماء. والجدرانُ الخلويّةُ في الطحالبِ السوطيةِ الدوّارةِ تتكوَّنُ من السليلوز.

بعضُ أنواعِ الطحالبِ السوطيةِ الدوّارة تولِّدُ **إضاءةً حيوية Bioluminescence** وغالبًا ما يُشاهد ضوؤها، ليلاً في مياهِ المحيطِ البحريّ. وتوجدُ أنواعٌ أُخرى منها تُنتجُ سمومًا وأصباغًا حمراء. فعندَما تزدهرُ جماعاتُها الاحيائيّةُ ، تحوِّلُ لونَ المياهِ إلى الأحمر، ممّا يؤدّي إلى ظاهرةٍ تُعرَفُ باسْمِ **المدِّ الأحمر Red tide**. عندَما تقتاتُ الحيواناتُ البحريّةُ بهذه الأنواع، تستهلكُ أيضًا السمومَ التي تمثّلُ خطرًا على الإنسانِ الذي يأكلُها.



**الشكل 7-16**

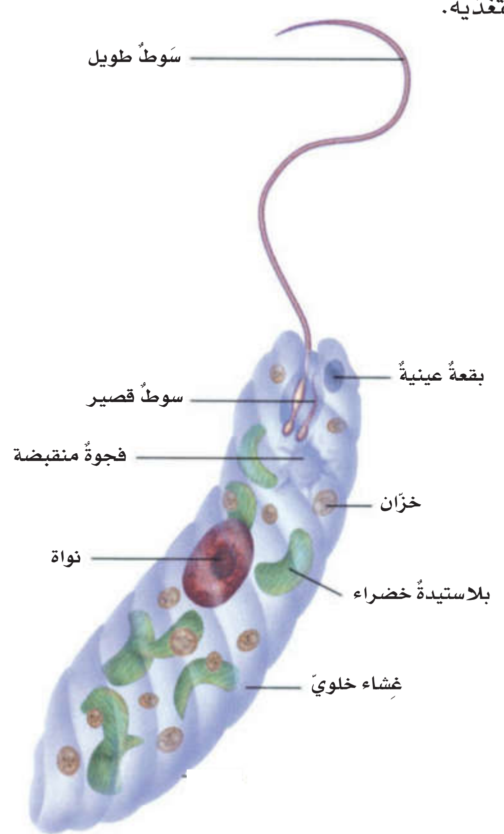
غالبًا ما تحتوي السوطيّات الدوّارةُ، كهذه الظاهرةِ هنا، على بكتيريا خضراءَ مزرقّةٍ ذاتِ عيشٍ تكافُليٍّ داخليّ. ويُمكنُ أن تعيشَ السوطيّاتُ الدوّارةُ تكافُليًّا وداخليًّا ضمنَ الإسفنجِ وقناديلِ البحرِ والمرجانيّاتِ وبعضِ أنواعِ الأوّليّات. (×450).

## شُعبةُ الطحالبِ الذهبيّة

تعيشُ مُعظمُ الطحالبِ الذهبيّةِ Chrysophyta في المياهِ العذبة، والبعضُ القليلُ منها يعيشُ في البحر. وتُراوح ألوانُ معظمِ هذه الشعبةِ بينَ الأصفرِ والبُنّيّ، لوجودِ أصباغِ الكاروتينويدات. وهي تحتوي أيضًا على الكلوروفيل أ و ج. وتختزنُ الطحالبُ الذهبيةُ الكثيرَ مما لديها من الغذاءِ الفائض، على صورةِ زيتٍ. ويشكِّلُ ذلك مصدرًا مهمًّا للترسّباتِ النفطيّة.

## شُعبةُ الطحالبِ اليوجْلينيّة

**الطحالبُ اليوجلينيةُ Euglenoids** طحالبُ أحاديّةُ الخليّة وذاتُ أسواط. وهي شبيهةٌ بالنباتِ في احتوائِها على الكلوروفيل، كما أنها ذاتُ بناءٍ ضوئيّ. وهي شبيهةٌ بالحيوانِ في افتقارِها إلى الجدارِ الخلوي، وفي أنّها كثيرةُ الحركةِ والتنقّل. وتحتوي الطحالب اليوجْلينيةُ على الكلورفيل أ و ب والكاروتينويدات. وتعيشُ مُعظمُ أنواعِها في المياهِ العذبة . ومنَ الأمثلةِ على اليوجلينات: جنسُ **يوجلينا Euglena** المتوفّرُ في المياهِ العذبة. لاحظِ الشكل 7-17 لتتعرّفَ تركيبَها الخلويّ. إنها تفتقرُ إلى جدارٍ خلويّ لذلك كانت مرنةً تقدرُ على تغييرِ شكلِها أثناء السباحة. واليوجلينا ذاتيةُ التغذيةِ عادةً، لكنها إذا عاشت في محيطٍ بيئيٍّ مظلمٍ، تكفُّ عن تكوينِ بلاستيداتٍ خضراء، وتصبحُ بذلك غيرَ ذاتيةِ التغذية.




**الشكل 7-17**
إنّ *Euglena gracilis* الظاهرةَ في هذا الشكل، نوعٌ مألوفٌ من الطحالب اليوجلينية التي تتحركُ بواسطةِ سَوطٍ طويل. تقومُ بقعةٌ عينيّةٌ بتوجيههِ نحوَ الضوء.

## مراجعةُ القسم 7-2

1. ما الأسسُ التي تُستخدَمُ في تقسيمِ الطحالبِ إلى سبعِ شُعب؟
2. صفْ عمليةَ التكاثرِ الجنسي في الكلاميدوموناس.
3. لماذا تُعدُّ الطحالبُ الخضراءُ مجموعةَ طحالبَ مُتنوّعة؟
4. أيُّ شُعبةٍ تحتوي على الطحالبِ عديدةِ الخلايا الأكبرِ حجمًا؟
5. ما الدياتوم؟ ما المنتجاتُ التجاريّةُ التي يمكنُ صنعُها من أصدافِ هذا الطحلب؟
6. **تفكيرٌ ناقد** بحسبِ اعتقادِكَ، ما أهميةُ تنوُّعِ أصباغِ الكلوروفيل في الطحالب ؟

القسم

# 3-7

## مُؤشّراتُ الأداء

▲ يصفُ الطورينِ اللذينِ يُميّزانِ دورةَ حياةِ الفطرِ الغَرَويّ.

● يصفُ المحيطَ البيئيَّ الذي تعيشُ فيه الفطريّاتُ الغَرَويّة.

■ يلخّصُ دوراتِ حياةِ الفطرياتِ الغَرَويةِ الرئيسة.

◆ يُحدّدُ الخصائصَ الفريدةَ للفطريّاتِ المائيّةِ.

# الطلائعياتُ شبيهةُ الفطريات

تشتملُ مجموعةُ الطلائعياتِ شبيهةِ الفطريّاتِ على الفطريّاتِ الغَرَويّةِ والفطريّاتِ المائيّة. وتتميَّزُ هذه الكائناتُ الحيّةُ من الأوّلياتِ والطحالبِ والفطريّات بدوراتِ حياةٍ فريدة. إلا أنّها تشبهُ هذهَ المجموعاتِ كُلَّها بكونِها حقيقيّةَ النواة وعديدةَ الخلايا، ولكنَّها غيرُ ذاتيّةِ التغذية، ومُتعدّدةُ الأنوية، وكبيرةُ الحجم، وذاتُ القليلِ من التخصُّصِ على مُستوى الأنسجة.

## الفطريّاتُ الغَرَويّة

تعيشُ الفطريّاتُ الغرويّةُ *Slime molds* في التربةِ الرطبةِ وفي القِطَعِ الخشبيّةِ المتعفنة، وفي أوراقِ النباتِ، كما في الموادِّ العضويّةِ المتحلّلة. وهي تبدو على هيئةِ كتلٍ لزجةٍ وبرّاقة، وبعضُها أبيضُ اللون، إلا أنَّ مُعظمَها أصفرُ أو أحمرُ. وهي تنتجُ تراكيبَ تكاثريةً شبيهةً بتراكيبِ الفطريات. ولهذا كانَت سابقًا تُصنَّفُ في مملكةِ الفطريات.

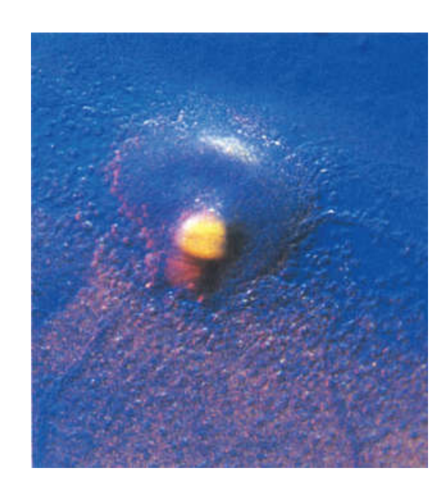
يُوجدُ شُعبتانِ من الفطريّاتِ الغروية، شُعبةُ الفطرياتِ الأميبية *Acrasiomycota* وهي فطريّاتٌ غرويةٌ خلويّة، وشُعبةُ الفطريات المخاطية *Myxomycota*، وهي فطريّاتٌ بلازموديّةٌ ذات خلايا غير متمايزة.

ولدى الشعبتَينِ دوراتُ حياةٍ من طورَين: طورٍ خضريٍّ مُتحرّكٍ يتغذّى كالأميبا، فيبتلعُ موادَّ عضويّةً وبكتيريا، وطورٍ تكاثُريٍّ، تحملُ خلالَه الفطريّاتُ الغرويةُ **أجسامًا ثَمَريّة Fruiting body** ذاتَ أبواغٍ وتتحمّلُ الظروفَ البيئيةَ غيرَ الملائمة.

### شُعبةُ الفطرياتِ الأميبية

تشتملُ شعبةُ الفطرياتِ الأميبيةِ على العديدِ من أنواعِ **الفطريّاتِ الغرويّةِ الخلويّة Cellular slime molds**، وهي خلايا مفردةٌ وأحاديّةُ المجموعةِ الكروموسوميّة، تتنقلُ كالأميبا، تزحفُ باستمرار، وتبتلعُ البكتيريا وأغذيةً أُخرى.

عندمَا يندرُ وجودُ الغذاءِ أو الماء، تُطلقُ الخلايا الأميبيةُ مادّةً كيميائيّةً تجعلُها تتجمّعُ بالمئاتِ والآلافِ لتبنيَ شكلَ مُستعمرة، يُسمّى **البلازموديوم الكاذب Pseudoplasmodium**، الشكل 7-18. يستقرُّ البلازموديوم الكاذبُ ويشكّلُ جسمًا ثَمَريًّا. وعندمَا ينفتحُ، تنتشرُ الأبواغُ في مواقعَ مختلفة، فتنمو وتتحوّلُ إلى خلايا أميبيّةٍ مفردة.



**الشكل 7-18**
يُوجدُ ما يقاربُ 65 نوعًا آخرَ من الفطريّات الغرويّة الخلويّة المعروفة. ويُمكنُ تنميةُ الفطر الغروي *Dictyostelium discoideum* بسهولة في المختبر. (80×)



**الشكل 7-19**

يتّصفُ الفطرُ الغرويُّ البلازمودي الفيزاروم *Physarum*، ببلازموديوم أصفرَ برّاق. هذه الكتلةُ من السيتوبلازم تقتاتُ بكائناتٍ حيةٍ دقيقة. أمّا التراكيبُ التكاثريّةُ فهي أجسامٌ مثمرةٌ متراصّة.

## شُعبةُ الفطرياتِ المخاطية

تشتملُ شعبةُ الفطرياتِ المخاطيةِ على العديدِ من أنواعِ الفطرياتِ الغَرَويةِ البلازمودية الشكل 7-19. يكونُ **الفطرُ الغرويُّ البلازموديّ Plasmodial slime mold**، أثناءَ الطورِ الخضريِّ لدورةِ حياتِه، بمثابةِ كتلةٍ من السيتوبلازم متعدِّدةِ الأنوية، تُسمّى **بلازموديوم Plasmodium**. وفيما يتنقّلُ البلازموديوم، يبتلعُ الأوراقَ المتحلّلةَ المتعفّنةَ والبقايا المفتّتةَ الأُخرى بطريقةِ البلعمة. وحين يندرُ الماءُ أو الغذاءُ، يزحفُ البلازموديوم حتّى يبلغَ سطحًا مكشوفًا، فيبدأُ بالتكاثُر، ويكوّنُ أجسامًا ثمريّةً تتكوّنُ فيها الأبواغ ($n$). وفي ظلِّ ظروفٍ مُؤاتية، تنفتحُ الأجسامُ الثمريةُ وتنتشرُ الأبواغُ في مواقعَ مختلفة، حيث تتحدُ هذهِ الأبواغُ لتكوّنَ خلايا أميبيةً مفردة ($2n$)، تلي ذلك انقساماتٌ مُتساويةٌ دونَ انقسامِ السيتوبلازم، لتكوّنَ سيتوبلازمًا متعدِّد الأنوية، هو البلازموديوم.

### نشاطٌ عمليٌّ سريع

**ملاحظةُ الفطرِ الغُرويّ**

**الموادّ** زرعُ فطرٍ غرويّ، وسطٌ غذائيٌّ من الشوفان، خلّ، عودٌ قطنيّ، مجهرٌ للتشريح.

**الإجراء**

1. لاحظْ حركةَ تنقُّلِ الفطرِ الغرويّ. حدّدْ بلازموديوم وأنويتَه وفجواتِه الغذائيّة. ارسمِ التراكيبَ التي لاحظتَها وضعِ التسمياتِ عليها.
2. ضعْ قليلاً من وسطٍ غذائيٍّ من الشوفانِ عندَ الحافةِ الخارجيّةِ للفطرِ الغرويّ.
3. اغمسِ العودَ القطنيَّ في الخلّ، والمسْ بهِ الفطرَ الغرويّ.

**التحليل** كيفَ ينتقلُ الفطرُ الغرويّ؟ كيفَ يتفاعلُ مع طَعامِ الشوفان، ومع الخلّ؟

# الفطريّاتُ المائيّة

يتكوّنُ **الفطرُ المائيّ Water mold** من خيوطٍ خلويّةٍ مُتفرّعة. ومُعظمُ الفطريّاتِ المائيّةِ تعيشُ في الماء، ولا سيّما في المياهِ العذبة. إلا أنَّ بعضَها يعيشُ في التربة، وبعضَها الآخَر طفيليٌّ يعيشُ على خياشيمِ الأسماكِ وجلدِها.

تتكاثرُ الفطرياتُ المائيةُ جنسيًّا ولاجنسيًّا. فمن خلالِ التكاثرِ اللاجنسيِّ تنتجُ أبواغًا سوطيةً تكاثريةً متحركة. وتنبتُ هذه الأبواغُ لتصبحَ خلايا شبيهةً بالخيوطِ التي تتراكمُ على صورةِ كتلةٍ تشبهُ البساط.

وفي أثناءِ التكاثرِ الجنسي، تكوِّن خلايا الفطرِ المائيِّ تراكيبَ تحتوي على بويضاتٍ وتراكيبَ تحتوي على أمشاجٍ ذكرية. وتنمو أنابيبُ إخصابٍ بين نوعَيِّ التراكيب تُمكِّنُ الأمشاجَ الذكريةَ من تخصيبِ البويضاتِ وتكوينِ بويضاتٍ مخصَّبة. تنمو البويضةُ المخصَّبةُ وتكوِّنُ كتلةً خيطيةً جديدةً تنتجُ محافِظَ بوغيةً لاجنسية، وأعضاءً ذكريةً وأنثريدة. وأعضاءِ أنثوية (اركيكونه).



**الشكل 7-20**

يتسبَّبُ الفطرُ المائيّ *Phytophthora infestans* بالآفةِ التي تصيبُ البطاطس. اجتاحَتْ هذه الآفةُ في أواسطِ القرن 19 مزارعَ البطاطس في إيرلندا.

## شعبةُ الفطرياتِ البيضية

تشتملُ شُعبةُ الفطريات البيضية Oomycota على عددٍ منَ الكائناتِ الحيّةِ التي تسبِّبُ أمراضًا لَدى النباتات. فمثلاً، يسبِّبُ الفطرُ المائيُّ فايتوفتورا إنفستان *Phytophthora infestans* الآفةَ التي أصابتْ قديمًا البطاطس، فكانَ المسؤولَ عن الجوعِ المرتبطِ بالبطاطس، وهو الذي ضربَ إيرلندا في أواسطِ القرنِ التاسعَ عشرَ، وتحديدًا بينَ العامَين 1845 و 1849. والآفةُ **Blight**، مرضٌ في النباتِ يتَّصفُ بتحلُّلٍ سريعٍ للأوراق، كما للسوقِ وللأزهار، وفقدانِ لونِها، الشكل 7-20. مثالٌ آخَرُ على الفطرياتِ البيضيةِ يسبِّبُ مرضًا في النباتات، هو بلازموبارا فيتيكولا *Plasmopara viticola*، الذي يُصيبُ نباتَ العنب، وبخاصةٍ الأوراقَ والثمار، الشكل 7-21. يمكنُ لهذا الفطرِ أن يصيبَ أيضًا الخُضَر وثمارًا أخرى.



**الشكل 7-21**
ينتجُ العَفَنُ الفطريُّ الزغبيّ، على العناقيد، عن فطرِ *Palsmopara viticola* الذي ينمو على أوراقِ العنَبِ وثمره. يُمكنُ لهذا الكائنِ الحيِّ الطلائعيِّ أنْ يتسبَّبَ في ضررٍ اقتصاديٍّ مُهمٍّ في حالِ عدمِ إخضاعِه للمراقبةِ الدقيقةِ والتحكّمِ فيه بعناية.

### مراجعةُ القسم 7-3

1. ما الطورانِ اللذانِ يُكوِّنانِ دورةَ حياةِ الفطرياتِ الغَرَوية؟
2. ما الشُّعَبُ التي ينتمي إليها تصنيفُ الفطريّاتِ الغَرَويّة؟
3. ما السماتُ المميَزةُ للبلازموديوم الكاذب؟ وأيُّ كائناتٍ حيّةٍ تكوِّنُ هذا التركيب؟
4. متى تكوِّنُ الفطرياتُ الغَرَويةُ البلازمودية جسمَها الثمريَّ؟
5. ما السِّماتُ المميِّزةُ للفطرياتِ المائيّة؟
6. **تفكيرٌ ناقد** ما أهميةُ إنتاجِ الأجسامِ الثمريةِ في البلازموديوم؟

# مراجعة الفصل 7

## ملخص / مفردات

**1-7**

- الطلائعياتُ هي الأكثرُ تنوُّعًا بين أنواعِ الكائناتِ حقيقيةِ النواةِ.
- تقسمُ الطلائعياتُ إلى ثلاثِ مجموعات: الكائناتِ الشبيهةِ بالحيوانات، والكائناتِ الشبيهةِ بالنبات، والكائناتِ الشبيهةِ بالفطريات.
- الأوّلياتُ كائناتٌ حيّةٌ أحاديّةُ الخليّةِ حقيقيّةِ النواة، وهي تُصنَّفُ في مملكةِ الطلائعيّات، وتعيشُ في المواطنِ البيئيةِ الرطبة. تشتملُ على أشكالٍ ذاتِ حياةٍ حُرّةٍ مُستقلة، وعلى أشكالٍ طُفيلية غيرِ ذاتيَّةِ التغذية، تحصلُ على غذائها عن طريقِ عمليّةِ البلعمة.
- عند الكثيرِ من الأوليّاتِ تكيّفاتٌ تستجيبُ لتغيّراتٍ في المحيطِ البيئيّ. تشتملُ هذه التكيّفاتُ على تكوينِ بقعٍ عينيّةٍ وحويصلات.
- تُصنَّفُ الأولياتُ في أربعِ شعبٍ هي: جذرياتُ القدم، الهدبيات، البوغيات، والسوطيات.
- تتألّفُ شُعبةُ جذريّاتِ القدَمِ من أوّليّاتٍ، تتنقلُ بواسطةِ أقدامٍ كاذبة. كالأميبا والمثقباتِ والشعاعيات.
- تتنقّلُ الأميبا بفعلِ الحركةِ السيتوبلازمية. في أثناءِ التنقل يدفعُ الأندوبلازمُ الأكتوبلازم في اتجاهٍ خارجيٍّ لتشكيلِ قدَمٍ كاذبة. تُستخدَمُ الأقدامُ الكاذبةُ أيضًا في عمليةِ البلعمة للتغذية.
- مُعظمُ جذريّاتِ القدَم تعيشُ بصورةٍ حُرّة، إلاّ أنَّ نوعَ انتاميبا هيستوليتيكا *Entamoeba histolytica* طُفيليٌّ ويتسبَّبُ في مرضِ الزُّحارِ الأميبيِّ لَدى الإنسان.
- تتألّفُ شُعبةُ الهُدبيّاتِ من أوليّاتٍ تتنقلُ بواسطةِ أهداب. وتشتملُ الهدبيّاتُ على البراميسيوم، الذي يتضمَّنُ نواةً كبيرة، ونواةً صغيرة، وميزابًا فميًّا وثقبًا شرجيًّا.
- تتكاثرُ الهُدبيّاتُ عن طريقِ الانشطارِ الثنائي، والتكاثُرِ الجنسيّ. تتبادلُ الهُدبيّاتُ الموادَّ الوراثيّةَ عبرَ عمليّةٍ تُسمّى الاقتران.
- تتألّفُ شُعبةُ السَّوطياتِ من أوليّاتٍ تتنقلُ بواسطةِ أسواط. تشتملُ السَّوطياتُ على النوعِ *Trypanosoma* الذي يتسبَّبُ في مرضِ النومِ الإفريقي.
- تتكوّنُ شُعبةُ البَوغيّاتِ من أوّلياتٍ تتصفُ بدورةِ حياةٍ مُعقّدة، تُكوّنُ خلالَها أبواغًا. كلُّ أنواعِ البَوغيّاتِ طفيليّاتٌ في جسمِ الإنسانِ والحيوانات.
- البلازموديوم *Plasmodium* يتسبّبُ بمرضِ الملاريا، الذي ينتقلُ بواسطةِ بعوضةِ الأنوفيليس الأنثى. يُسبِّبُ هذا الطفيليُّ أضرارًا كبيرةً لخلايا الدمِ الحمراءِ لدى المُصاب.

**مفردات**

- **الاقتران** Conjugation (93)
- **الأكتوبلازم** Ectoplasm (95)
- **الأندوبلازم** Endoplasm (95)
- **الانشطارُ المتعدّد** Multiple fission (93)
- **الأوّليات** Protozoa (93)
- **البقعةُ العينيّة** Eyespot (93)
- **البلعوم** Gullet (95)
- **الثقبُ الشرجي** Anal pore (95)
- **الحركةُ الأميبيّة** Ameboid movement (95)
- **الخليّةُ المشيجيّة** Gametocyte (97)
- **الزُّحارُ الأميبيّ** Amebic dysentery (95)
- **السبوروزويت** Sporozoite (97)
- **الشعاعيات** Radiolarians (95)
- **الصدفة** Test (95)
- **الطلائعيات** Protista (93)
- **العوالقُ الحيوانية** Zooplankton (93)
- **فتحةُ الفم** Mouth pore (95)
- **الفجوةُ الغذائيّة** Food vacuole (93)
- **القدمُ الكاذبة** Pseudopodium (95)
- **القشيرة** Pellicle (95)
- **المثقّبات** Foraminifera (95)
- **الملاريا** Malaria (97)
- **الميروزويت** Merozoite (97)
- **الميزابُ الفمّي** Oral groove (95)
- **النواةُ الصغيرة** Micronucleus (95)
- **النواةُ الكبيرة** Macronucleus (95)
- **النومُ الأفريقي** Trypanosomiasis (96)

**2-7**

- تشتملُ مملكةُ الطلائعيّاتِ على الطحالبِ التي يتمثّلُ مُعظمُها بكائناتٍ حيّةٍ مائيّةٍ تحتوي على الكلوروفيل. تشتملُ الطحالبُ على خلايا مفردةٍ مجهريّة، وعلى أعشابٍ بحريّةٍ عملاقة.
- تُنتجُ الطحالبُ كميّاتٍ كبيرةً منَ الموادِّ العضويّة، التي تصلحُ كموادَّ مغذيةٍ لكائناتٍ حيّةٍ أخرى. إضافةً إلى ذلك، تُضيفُ الطحالبُ كميّةً ضخمةً من الأكسجين في الهواء.
- الجزءُ الذي يشكِّلُ جسمَ الطحلبِ هو الثالوس، ويُمكنُه أن يتألّفَ من خليةٍ مفردة، أو من خلايا مستعمريّة، أو من خيط،أو من ترتيبٍ مُعقّدٍ عديدِ الخلايا.
- يُمكنُ تصنيفُ الطحالبِ في سبعِ شُعب، بالاستنادِ إلى اللون، ونوعِ الكلوروفيل، وشكلِ موادِّ تخزينِ الغذاء.
- تتكاثرُ الطحالبُ بطريقةٍ لاجنسيةٍ عبرَ الانقسامِ المتساوي، وبطريقةٍ جنسيّةٍ عبرَ وسائلَ أكثرَ تعقيدًا.
- لدى طحلبِ ألفا، تعاقبُ أجيال: طورٌ مشيجيٌّ يعقبُهُ طورٌ بَوغيّ.
- تحتوي شُعبةُ الطحالبِ الخضراءِ على الكلوروفيل أ و ب وعلى كاروتينويدات، وتتكوّنُ جدرانُها الخلويةُ من السليلوز.
- تحتوي شُعبةُ الطحالبِ البُنّيةِ على الكلوروفيل أ و ج وعلى كاروتينويد، وتشتملُ على فيوكوزانثين.

- تحتوي شُعبةُ الطحالبِ الحمراءِ على الكلوروفيل أ وعلى فايكوبيلينات.
- تتكوَّنُ شُعبةُ الطحالبِ العصوية من الدياتومات. وهذه الطحالبُ الأحاديّةُ الخليّةِ هي ذاتُ أصدافٍ تحتوي على ثاني أُكسيدِ السيليكا.
- تحتوي شُعبةُ الطحالبِ السوطيّة الدوّارةِ على كلوروفيل أ و ج وعلى كاروتينويدات. ومُعظمُ أنواعِها مُزوّدٌ بسَوطَين.
- تحتوي شُعبةُ الطحالبِ الذهبيةِ على الكاروتينويدات.
- تتميز شُعبةُ الطحالبِ اليوجلينية بخصائصَ تُشبهُ خصائصَ النباتِ، وأخرى تُشبهُ خصائصَ الحيوان.

### مفردات

الأجار Agar (101)
الإضاءةُ الحيوية Bioluminescence (102)
البوغُ السوطي Zoospore (99)
البوغُ اللاقح Zygospore (99)
البيرينويد Pyrenoid (98)
التربةُ الدياتومية Diatomaceous earth (102)
تعاقبُ الأجيال Alternation of generations (100)
الثالوس Thallus (98)
الدياتوم Diatom (102)
الطحالب Algae (99)
الطحالبُ اليوجلينية Euglenoids (103)
الطحالبُ أحاديُ الخلية Unicellular alga (98)
الطحلبُ الخيطي Filamentous alga (98)
الطحلبُ عديدُ الخلايا Multicellular alga (98)
الطحلبُ المستعمري Colonial alga (98)
الطورُ المشيجي Gametophyte (100)
الطورُ البوغي Sporophyte (100)
العوالقُ النباتية Phytoplankton (98)
الفايكوبيلين Phycobilin (101)
الفيوكوزانثين Fucoxanthin (101)
المحفظةُ البوغية Sporangium (100)
المدُّ الأحمر Red tide (102)
الكاراجينان Carageenan (101)
اللامينارين Laminarin (101)
اليوجلينا Euglena (103)

**3-7**

- الفطريّاتُ الغَرَويّةُ كائناتٌ حقيقيّةُ النواة. تشتملُ دورةُ حياتِها على طورٍ خضريٍّ زاحفٍ يُشبهُ الأميبا، وعلى طورٍ تكاثُريٍّ يحملُ الأبواغ.
- تصنَّفُ الفطريّاتُ الغروية في شُعبةِ الفطرياتِ الأميبيةِ وفي شُعبةِ الفطرياتِ المخاطية.
- تحتوي شُعبةُ الفطرياتِ البيضيةِ على كائناتٍ حيّةٍ تُشبهُ الفطريّات، تُسمّى الفطريّاتِ المائيّة. تتألّفُ الفطريّاتُ المائيّةُ من خيوطٍ مُتفرّعة.

### مفردات

الآفة Blight (105)
بلازموديوم Plasmodium (105)
بلازموديوم كاذب Pseudoplasmodium (104)
الجسمُ الثمري Fruiting body (104)
الفطرُ الغرويُ البلازمودي Plasmodial slime mold (105)
الفطرُ الغرويُ الخلوي Cellular slime mold (104)
الفطرُ المائيُ Water mold (105)

## مراجعة

### مفردات

اخترْ من كلٍّ من المجموعاتِ التالية، المفردةَ التي لا تنتمي إلى المجموعة، واشرحْ سببَ ذلك.

1. الهُدبيّات، السُّوطيّات الدوّارة، جذريّاتُ القَدَم.
2. الأهداب، الأقدامُ الكاذبة، الفجوةُ المنقبضة.
3. طورٌ مَشيجيّ، طورٌ بَوغيّ، جسمٌ ثمريّ.
4. الكلوروفيل أ، الكاروتينويدات، العوالقُ النباتيّة.
5. فطرٌ مائيّ، فطرٌ غَرَويٌّ خلويّ، عشبُ البحر.

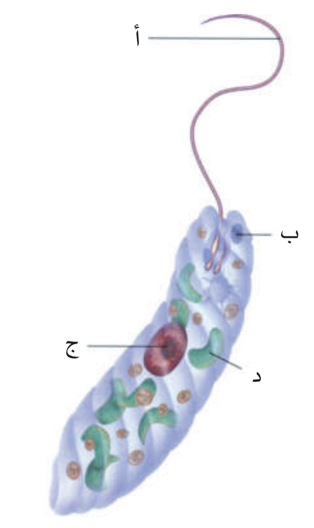
### اختيارٌ منْ متعدّد

6. تتّصفُ المواطنُ البيئيّةُ للأوليّاتِ بوجود (أ) الطحالب (ب) الرطوبة (ج) الدم (د) التربة.
7. بعضُ الأوليات تتحكّمُ في نوعيّة الضوءِ وتراقبُها، بواسطة (أ) الأقدام الكاذبة (ب) البقع العينيّة (ج) الأهداب (د) الفجوات المنقبضة.
8. الأقدامُ الكاذبةُ، لدَى جذريّاتِ القَدَم هي امتداداتُ (أ) القشيرة، (ب) السيتوبلازم، (ج) الأهداب، (د) الصَّدفة.
9. الهُدبيّاتُ مثل البراميسيوم تملِكُ (أ) أصدافًا خارجيّة (ب) دوراتِ حياةٍ طفيليّةٍ لبعوضِ أنوفيليس دورٌ فيها (ج) مجموعةً معقّدةً من العضيّات (د) ثانيَ أُكسيدِ السيليكا في أغشيتِها الخلويّة.
10. ينتقلُ مرضُ النوم الأفريقيّ بواسطةِ (أ) ذُبابِ تَسِي تَسِي (ب) بعوضِ أنوفيليس (ج) حشراتِ البق (د) ذبابةِ المنزل.
11. يتكاثرُ الطحلبُ الأخضرُ الكلاميدوموناس بطريقةٍ لاجنسيّةٍ عبرَ تكوين (أ) بويضةٍ مُخصَّبة (ب) طورٍ مَشيجيّ (ج) أبواغٍ سُوطيّة (د) الاقتران.
12. الطحلبُ الأخضرُ ألفا يكوّنُ طورًا بَوغيًّا يتّصفُ بتراكيبَ تُسمىّ (أ) محافظَ بوغيّة (ب) أعضاءً ذكرية (ج) محافظَ مَشيجيّة (د) كاراجينان.
13. الظاهرةُ المعروفةُ باسم المدِّ الأحمر تنجمُ عن انفجارِ جماعةٍ أحيائيّةٍ من (أ) الدياتومات (ب) الطحالب الحمراء (ج) الفطريّاتِ المائيّة (د) الفطرياتِ السوطيةِ الدوّارة.

14. العديدُ منْ أنواعِ الطحالبِ مُزودٌ بخلايا تكاثُريّةٍ ذات أسواطٍ تُسمىّ (أ) محافظَ بوغيّة (ب) أبواغًا سوطيّة (ج) بُويضاتٍ سَوطيّة (د) أطوارًا بَوغيّة.
15. البيرينويد عُضَيٌّ (أ) يُكسبُ الطحالبَ الذهبيّةَ لونَها الأصفر (ب) يثبِّتُ عُشبَ البحرِ في قاعِ المحيط (ج) يصنعُ النشاء ويخزنُه (د) يُمكّنُ بعضَ أنواعِ الطحالبِ من إنتاجِ الضوء.
16. الطورُ الخضريّ للفطرِ الغرويّ البلازمودي يُسمىّ (أ) أميبا (ب) الجسمَ الثمريّ (ج) البلازموديوم (د) البَوغَ السوطيّ.

## إجابةٌ قصيرة

17. صِفْ عمليّةَ الحركةِ الأميبيّةِ وكيفَ تُساهمُ في تغذيةِ الأميبا.
18. كيف تختلفُ عمليّةُ الاقترانِ في البراميسيوم عنها في البكتيريا؟
19. ما أوجهُ الشبهِ بينَ الطحالبِ والأوليّات؟ ما الخصائصُ المشتركةُ بينَ الطحالبِ والنباتات؟ ما الخصائصُ الّتي تختلفُ بها الطحالبُ عن النباتات؟
20. اذكرْ أسُسَ تصنيفِ الطحالبِ في سبعِ شُعب؟
21. قارنْ بينَ أنواعِ جُزيئاتِ تخزينِ الغذاءِ التابعة للأنواعِ السبعةِ من الطحالب. ما هوَ جزيءُ تخزينِ الغذاءِ الذي تستخدمُهُ الطحالبُ أكثر؟
22. لماذا توصفُ الطحالبُ اليوجلينية بأنها كائناتٌ شبيهةٌ بالنبات، وشبيهةٌ بالحيوان؟ وضّحْ كيفَ يُمكنُ لهذه الكائناتِ أنْ تكونَ غيرَ ذاتيّةِ التغذيةِ وذاتيّةَ التغذيةِ معًا.
23. ما الجسمُ الثمريّ؟ في أيِّ مرحلةٍ من دورةِ حياتِها تقومُ الفطريّاتُ الغرويّةُ بتكوينِ أجسامٍ ثَمَرية؟
24. سمِّ التراكيبَ المشارَ إليها بالأحرفِ في الشكلِ التالي. واذكر اسْمَ هذا الكائنِ الحيّ.




## تفكيرٌ ناقد

1. يقتاتُ العديدُ من الأوليّاتِ بواسطةِ أقدامٍ كاذبة. ما الحافزُ الذي يؤدي إلى تكوّنِ هذه الامتداداتِ السيتوبلازميّة؟
2. إنّ عمليّةَ الاقترانِ عمليّةٌ معقّدة، تتطلّبُ استهلاكًا للطاقةِ وموارِدَ أخرى. اربطْ ما بينَ الكلفةِ الإحيائيّةِ المُرتفعةِ لعمليّةِ الاقترانِ والفائدةِ منْ تبادلِ الموادِّ الوراثيّة، لأجلِ التكيُّف.
3. يوجدَ أوليّاتٌ طُفيليّةٌ مثل *Entamoeba histolytica*، قادرةٌ على التحوصلِ كلّما غادرتِ العائل. ما أهميةُ التحوصلِ للحيوانِ الأوليِّ الطُفيليّ؟
4. غالبًا ما يستخدمُ العلماءُ صبغًا يسُمّى فايكوارثرين *Phycoerythrin*، ليدُلَّ على أجزاءِ الخلايا، بحيث يمكنُ رؤيتُها تحتَ نوعٍ خاصٍّ منَ المجاهرِ التي تعتمدُ الأشعّةَ فوقَ البنفسجيّة. يُضيءُ صبغُ فايكوارثرين، فلوريًّا، تحتَ تأثيرِ الأشعّةِ فوقِ البنفسجيّة. وبما أنَّ هذه الأشعة ذاتُ تردُّدٍ يفوقُ تردُّدَ الضوء، فبإمكانِها اختراقُ عمقٍ مائيٍّ أكبرَ مِمّا يستطيعُهُ الضوءُ المرئيّ. بالاستنادِ إلى هذه المعلومة، وما تطالعُهُ في هذا الفصل، أيُّ شُعبةٍ منَ الطحالبِ تُنتجُ صبغَ الفايكوارثرين. علّلْ إجابتَك.
5. وضّحْ كيفَ يُؤدي غيابُ الجدارِ الخلويِّ لدى اليوجلينا إلى جعلِ وظيفةِ الفجوةِ المنقبضةِ في غايةِ الأهمّيّة؟

## توسيعُ آفاقِ التفكير

1. اكتبْ تقريرًا حولَ أنواعِ الأوّلياتِ التي تعيشُ في العوالقِ الحيوانيّةِ البحريّة. يجبُ أنْ يتضمّنَ تقريرُكَ معلوماتٍ حولَ أنواعِ السمكِ التي تعتمدُ على هذه الأوّلياتِ كمصدرٍ للغذاء.
2. خُذْ عيّناتِ ماءٍ منْ ثلاثةِ مصادرَ على الأقلّ: برَكٍ، بُحيراتٍ، صنابيرَ أو أفلاجٍ مائيّة، وتفحّصْها تحتَ المجهر. عُدَّ الأصنافَ المُختلفةَ للأوّلياتِ في كلِّ عيّنة، وضعْ رسومًا بسيطةً أوّليّةً لكلِ الأنواعِ التي تُشاهدُها.
3. اجمعْ عيّناتٍ منَ التربة، وأوراقًا ميتة، وعشبًا قديمًا، وأوراقًا طازجة. ضعْ كلَّ عيّنةٍ في مرطبان، أو في أنبوبِ اختبارٍ مليءٍ بالمياهِ الصافية، واتركِ العيّناتِ بالقربِ من مصدرٍ للضوء. تفحّصِ العيّناتِ تحتَ المجهرِ مرّةً واحدةً في الأسبوع، وضعْ رسومًا تخطيطيةً لأنواعِ الكائناتِ الحيّةِ التي تجدُها. ما الذي تكشفُ عنه مُلاحظاتُك بشأنِ المواطنِ البيئيةِ المختلفةِ للطحالب؟

# الفصـــــلُ 8

# الفطريات



الفِطريّاتُ، كهذا المشروم، كائناتٌ حيةٌ محلّلةٌ مهمّةٌ في الطبيعة.



**المفهومُ الرئيس:** التركيبُ الخلويُّ ووظائفُه

لاحظْ، وأنتَ تقرأ، كيف تمكّنُ السِماتُ المميِّزةُ للفطريات، كتركيبِها ووظائفِها الأحيائية، من التأثيرِ في محيطِها البيئيِّ، وبالتالي في صحّةِ الإنسان.

القســـم

1-8

مؤشّراتُ الأداء

▲ يحدّدُ الخصائصَ العامةَ للفطريات.

● يقارنُ بين الفطرياتِ وكائناتٍ حيةٍ أخرى حقيقيةِ النواة.

■ يوضحُ كيفَ تحصلُ الفطرياتُ على الموادِّ الغذائية.

◆ يميّزُ بين الخيطِ الفطريِّ والغَزْلِ الفطري.

# نظرةٌ عامة

عندما صنّفتِ الكائناتُ الحيّةُ إلى ستِّ ممالك، صُنّفتِ الفطرياتُ كمملكةٍ خاصةٍ؛ لأنها تختلفُ عن الكائناتِ الحيةِ الأخرى من نواحٍ عِدّة، من بينِها التركيبُ ونمطُ التكاثرِ وطرقُ الحصولِ على الغذاء.

## الخصائصُ العامةُ للفطريات

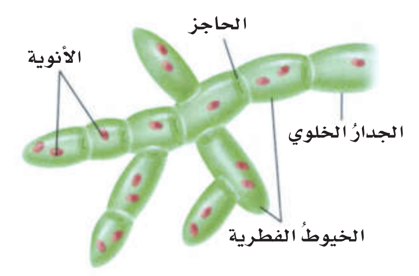
الفطرياتُ كائناتٌ حيةٌ حقيقيةُ النواة لا تقومُ بالبناءِ الضوئي، ومعظمُها عديدُ الخلايا وغيرُ ذاتيِّ التغذية. أكثرُ الفطرياتِ كائناتٌ مجهرية، من نوعِ العفنِ الفطريِّ أو الخمائر. فطرياتُ **العفنِ الفطري Molds**، كالفطرِ الذي ينمو على الخبزِ وعلى البرتقال، هي كتلٌ متشابكةٌ من الخيوطِ الخلوية. أما الخميرةُ Yeast فهي كائناتٌ حيةٌ أحاديةُ الخلية، مستعمراتُها تُشبهُ مستعمراتِ البكتيريا.

تتركّبُ أجسامُ معظمِ الفطرياتِ من **خيوطٍ فطرية Hyphae**، تحتوي جدرانُها الخلويةُ على مادةِ **الكايتين Chitin**. وهي مادّةٌ عديدةُ تسكّرٍ معقّدٍ، لا توجدُ في البكتيريا والطلائعيات، ولا في أيِّ كائناتٍ حيةٍ دقيقةٍ أُخرى، بل توجدُ فقط في الحشرات. ومادةُ الكايتينِ تميِّزُ الفطرياتِ من النباتاتِ التي تتركَّبُ جدرانُ خلاياها من السليلوز بدلَ الكايتين. وتسمّى دراسةُ الفطرياتِ **علمَ الفطريات Mycology**.

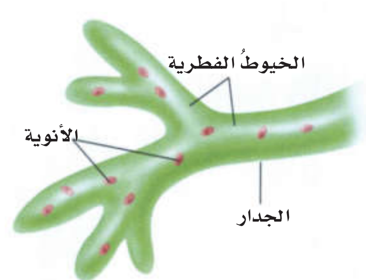
تفرزُ الفطرياتُ الأنزيمات، ثم تمتصُّ من خلالِ جدارِها الخلويِّ الموادَّ الغذائيةَ التي تمَّ هضمُها. ومعظمُ الفطرياتِ كائناتٌ مترمِّمةٌ تعيشُ على تحليلِ الموادِّ العضوية، وتمتصُّها من كائناتٍ ميتةٍ موجودةٍ في المحيطِ البيئي. هذه الميزةُ تُكسبُ الفطرياتِ أهميةً كبيرة، بصفتِها كائناتٍ تعيدُ تدويرَ الموادِّ العضويةِ في الطبيعة.

### تركيبُ الفطريات

تسمّى الخيوطُ الفطريةُ المتشابكةُ، والمرئيةُ بالعينِ المجرَّدة، **غَزْلاً فطريًا Mycelium**. عندَ بعضِ الفطرياتِ تكونُ الخلايا في الخيوطِ الفطريةِ مفصولةً بعضُها عن بعضٍ **بحواجز Septa**، بينما يكونُ بعضُها الآخرُ خاليًا من تلك الحواجز، وتكوّنُ الخلايا **مدمجًا خلويًا Coenocytic**. يبيّنُ الشكل 1-8 الخيوطَ المفصولةَ بحواجز، والخيوطَ التي تكوّنُ مدمجًا خلويًا.

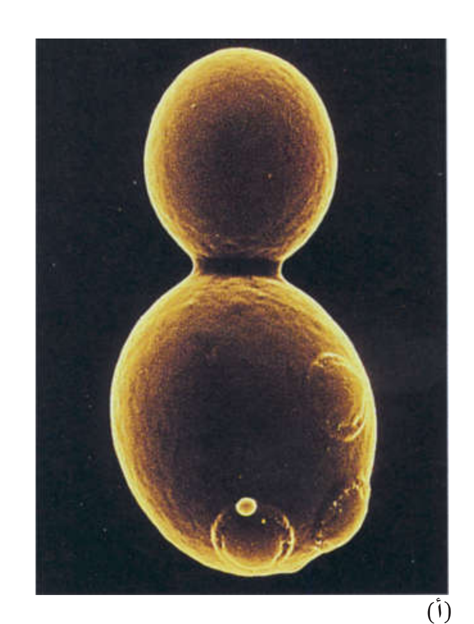


(أ) الخيوطُ الفطريةُ المفصولةُ بحواجز



(ب) الخيوطُ الفطريةُ التي تكونُ مدمجًا خلويًا

**الشكل 1-8**
(أ) يوجدُ في الخيوطِ الفطريةِ لبعضِ الفطرياتِ حواجزُ فاصلة. (ب) الخيوطُ الفطريةُ لبعضِها الآخر، بلا حواجزَ فاصلة، وهي تشكّلُ مدمجًا خلويًا.



(أ)



(ب)



(ج)

**الشكل 8-2**

تتكاثرُ الفطرياتُ لاجنسيًّا بوسائلَ مختلفة. (أ) يحدثُ اختناقٌ لجزءٍ من خليةِ الخميرةِ ليُنتجَ خلايا جديدة. (ب) فطرُ عفنِ الخبزِ، المعروفُ عمومًا بـ *Rhizopus stolonifer*، يُنتجُ سُويقةَ خيوطٍ فطرية لتنشرَ أبواغَها (ج) يُنتجُ هذا البينيسيليوم *Penicillium* أبواغًا كونيدية غيرَ محمية.

## التكاثُر اللاجنسي

تتكاثرُ معظمُ الفطرياتِ جنسيًّا ولاجنسيًّا. في التكاثرِ اللاجنسي تنتجُ الفطرياتُ آلافًا من الأبواغ. وعندما توضعُ تلك الأبواغُ في محيطٍ بيئيٍّ مؤاتٍ، تَنْبتُ وتُنتِجُ خيوطًا فطرية جديدةً، تشكِّلُ مستعمرةً فطرية يمكنُها أن تنتجَ آلافًا من الأبواغِ اللاجنسيةِ الجديدة. وتتنوَّعُ الأبواغُ اللاجنسيةُ التي تنتجُها فطرياتٌ مختلفة، فمنها مثلاً **حاملاتُ المحافظِ البوغية Sporangiophores**، وهي خيوطٌ فطريةٌ على صورةِ سُويقاتٍ تحملُ الواحدةُ عند قمتِها محفظةً بوغية Sporangium. ويتكوّنُ داخلَ كلِّ محفظةٍ أبواغٌ تسمّى **الأبواغَ المحفظية Sporangiospores**، وهي مثلُ العفنِ الأسود *Rhizopus* الذي يظهرُ في الخبز.

وهناك فطرياتٌ أُخرى تنتجُ أبواغًا تسمّى **كونيديا Conidia**، تتكوّنُ بلا محافظَ واقية. تنشأُ الكونيديا عندَ قمّةِ **حامل الكونيديا Conidiophore**. وعن طريقِ الكونيديا يتكاثرُ البينيسـ-م *Penicillium*، الذي ينتجُ مادةَ البينيسيلين، تكاثرًا لاجنسيًّا.

يمكنُ للتكاثرِ اللاجنسيِّ أن يتمَّ عن طريق **التجزئة Fragmentation**. بهذهِ العمليةِ تجفُّ خيوطٌ فطريةٌ ذاتُ حواجز، وتتجزّأُ، فتطلِقُ خلايا مفردةً تعملُ بمثابةِ أبواغ. والفطرُ الذي يسبِّبُ مرضَ قدمِ الرياضيِّ يتكاثرُ بهذه الطريقة.

وتتكاثرُ **الخميرةُ Yeast** عبرَ عمليةٍ تسمّى **التبرعم Budding**. وهي عمليةٌ لاجنسيةٌ حيث يحدثُ اختناقٌ لجزءٍ من خليةِ الخميرة، ثم ينفصلُ مكوّنًا خليةً جديدةً صغيرة. يبيِّنُ الشكل 8-2 ثلاثةَ أشكالٍ من التكاثرِ اللاجنسي.

## التكاثُر الجنسي

تتكاثرُ أنواعٌ كثيرةٌ من الفطرياتِ بطريقةٍ جنسية. والفطرياتُ ليست ذكريةً ولا أُنثوية، بل هي أصنافٌ قادرةٌ على التزاوج، وتسمّى في بعضِ الأحيان «موجبةً» و«سالبة». عندَما يتصادفُ وجودُ صنفٍ «سالب» وصنفٍ «موجب» من نوعٍ واحدٍ، تتحدُ الخيوطُ الفطريةُ للصنفَين، وينشأُ تركيبٌ متخصِّصٌ، يُنتِجُ أبواغًا متنوعةً في صفاتِها، وينشرُها.

## مراجعةُ القسم 8-1

1. كيف تحصلُ الفطرياتُ على الموادِّ الغذائية؟
2. ما الفرقُ بين الخيطِ الفطريِّ والغزلِ الفطري؟
3. اذكرْ ثلاثَ خصائصَ عامةٍ للفطريات.
4. أيُّ ميزةٍ تكسبُ الفطرياتِ أهميةً كبيرة بصفتها كائناتٍ حيَّةً تعيدُ تدويرَ الموارد.
5. قارنْ كيفيةَ حصولِ الفطرياتِ على الموادِّ الغذائية، وكيفيةَ حصولِ الطلائعياتِ عليها.
6. **تفكيرٌ ناقد** لماذا، في رأيك، يتوقّعُ وجودُ الكثيرِ من الفطرياتِ في أعشاشِ الطيور؟

القسم

2-8

## مؤشّراتُ الأداء

▲ يذكرُ الميزاتِ التي تميِّزُ بينَ الشُّعبِ الثلاثِ للفطريات.

● يحدِّدُ السماتِ المشتركةَ للتكاثرِ الجنسيِّ في شُعبِ الفطرياتِ الثلاث.

■ يعرِّفُ الفطرياتِ الجذريةَ والأشنات.

◆ يوضحُ أهميةَ الفطرياتِ الجذريةِ والأشناتِ في المحيطِ البيئي.

# تصنيفُ الفطريات

تصنَّفُ أنواعُ الفطريات، التي يبلغُ عددُها ما يقاربُ 100,000 نوع، في ثلاثِ شُعب. وقد صُنِّفتِ الفطرياتُ تقليديًّا وفقًا لخاصةِ تركيبِها ونمطِ تكاثرِها الجنسي. لم تعدْ هاتانِ الخاصّتانِ الأساسَ الوحيدَ للتصنيف، إلا أنهما لا تزالانِ تستخدمانِ في تعرُّفِ الفطريات.

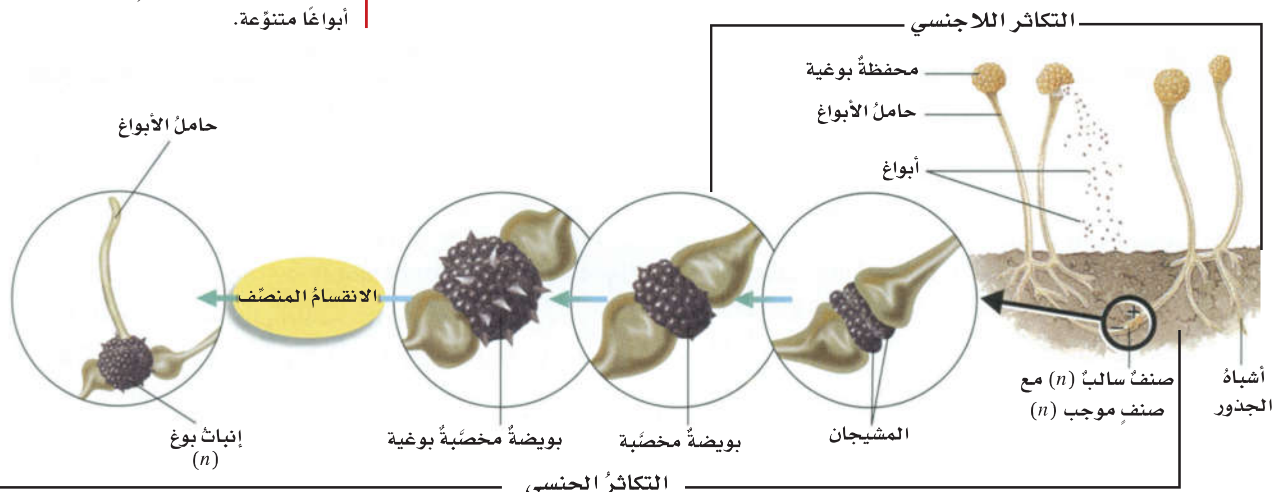
## شعبةُ الفطرياتِ الاقترانية

معظمُ الأنواعِ في شُعبةِ الفطرياتِ الاقترانية Zygomycota كائناتٌ حيةٌ تعيشُ في التربةِ الغنيةِ بالموادِّ العضوية، وخيوطُها الفطريةُ من نوعِ المدمَجِ الخلوي. وينتمي إلى هذه الشعبةِ فطرُ عفنِ الخبزِ الشائع *Rhizopus stolonifer*، المبيّن في الشكل 8-3. في أسفلِ الخيوطِ الفطريةِ لهذا العفن، توجدُ تفرُّعاتٌ تُثبِّتُهُ على سطحِ الخبزِ مخترقةً سطحَه، وتُسمّى **أشباهَ الجذور Rhizoids**. تُنتجُ أشباهُ الجذورِ أنزيماتٍ هضميةً تفكِّكُ المركّباتِ العضويةَ الموجودةَ في الخبز، وتقومُ بامتصاصِ الموادِّ الغذائية.

يسمّى التكاثرُ الجنسيُّ لدى الفطرياتِ الاقترانية، الاقتران. يحدثُ الاقترانُ عندَ تلاقي صنفٍ سالبٍ مع صنفٍ موجب، فيتمُّ اتحادُ نهايةِ خيطٍ سالبٍ، ونهايةِ خيطٍ موجب، مكوِّنًا مشيجًا ($n$) عندَ كلِّ طرفٍ خيطي.يتّحدُ المشيجان لتتكوّنَ بويضةٌ مخصَّبة ($2n$)، تصبحُ فيما بعد **بويضةً مخصَّبةً بوغية Zygosporangium** تكوِّنُ جدارًا سميكًا. عند الإنبات ينشأُ حاملُ الأبواغِ من البويضةِ المخصَّبةِ البَوغية. وبعدَ الانقسامِ المنصِّفِ تتكوَّنُ محفظةٌ بوغيةٌ تنفتحُ وتطلقُ أبواغًا ($n$)، كما هو مبيَّنٌ في الشكل 8-3.

**الشكل 8-3**

باستطاعةِ الفطرياتِ الاقترانيةِ أن تتكاثرَ جنسيًّا ولاجنسيًّا. جنسيًّا يَنتجُ عندَ تلاقي خيطَين خلايا مشيجية. وبعد اتحادِ الأمشاج، تتّحدُ الأنويةُ من الصنفَينِ وتُنتجُ في النهايةِ أبواغًا متنوّعة.



## شُعْبَةُ الفطرياتِ الدُّعامية

تُنتِجُ الفطرياتُ الدعاميةُ Basidiomycota، خلالَ تكاثرِها الجنسيِّ، تراكيبَ تكاثريةً تسمّى **دعامات Basidia**. تظهرُ في الشكل 8-4 خطواتُ عمليةِ التكاثرِ الجنسيِّ في المشروم، أحدِ الفطرياتِ الدعامية.

إن التركيبَ، الذي يحملُ الأبواغَ في الفطرياتِ الدعامية، يظهرُ على سطحِ الأرض، ويسمّى **الجسمَ الثمريَّ الدعامي Basidiocarp**،كما هي حالُ المشروم. يتكوّنُ الجسمُ الثمريُّ الدعاميُّ من ساقٍ وتركيبٍ يشبهُ المظلّةَ يُسمّى القلنسوة. عندَ الجهةِ السفلى للقلنسوة، توجدُ صفوفٌ من الخياشيمِ تحتوي على آلافِ الدعاماتِ الفطريةِ ثنائيةِ النواةِ التي تتّحدُ نواتا كلٍّ منها لتشكّلَ بويضاتٌ مخصَّبة ($2n$). تنفِّذُ البويضةُ المخصَّبةُ انقسامًا منصِّفًا لتنتجَ أربعةَ **أبواغٍ دعامية Basidiospores**($n$)، تنبتُ لتشكّلَ غزْلاً فطريًّا. عندَما تتّحدُ خيوطُها الفطريةُ تكوّنُ الجسمَ الثمريَّ الدعاميَّ الذي يبرزُ فوق سطحِ الأرض.

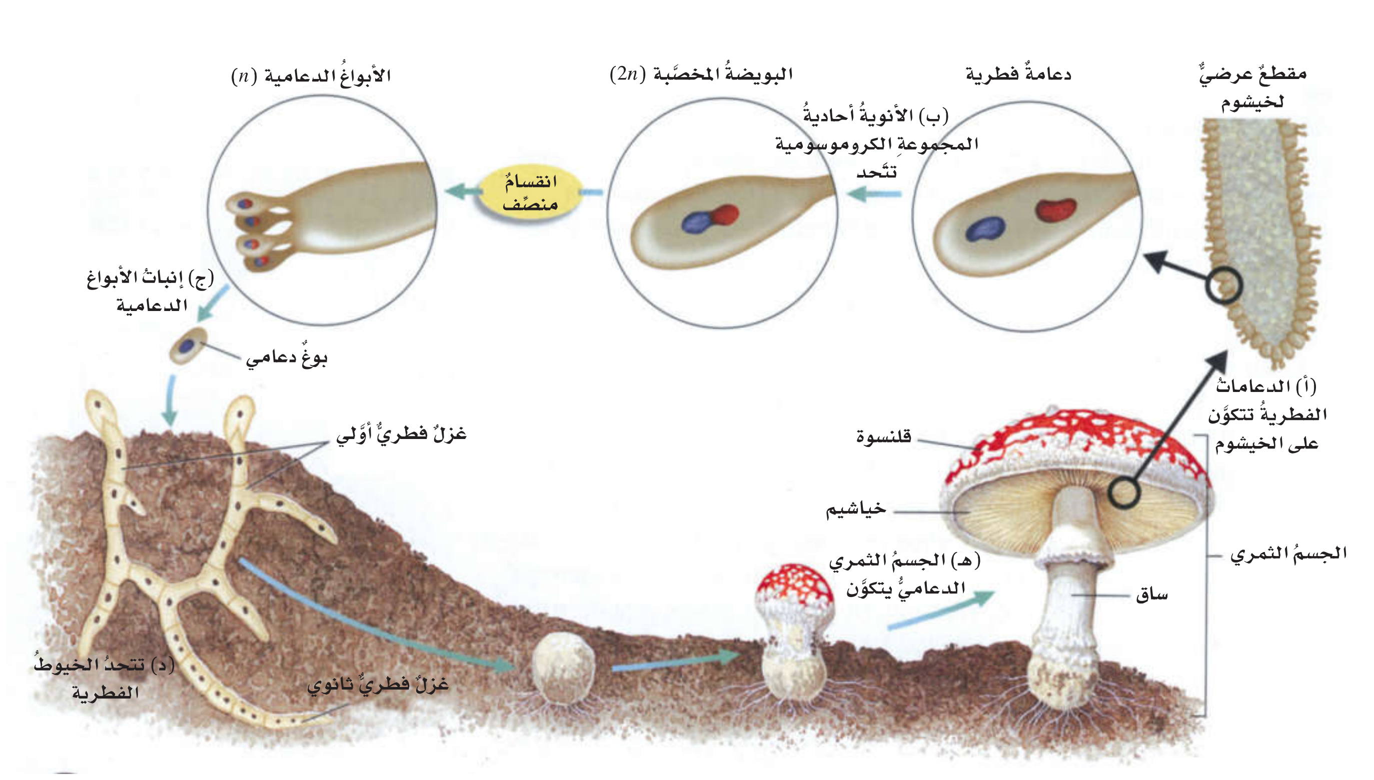
## شُعبةُ الفطرياتِ الكيسية

تتميَّزُ الفطرياتُ الكيسيةُ Ascomycota بما لديها من تراكيبَ على صورةِ أكياسٍ تتكوّنُ فيها الأبواغُ بطريقةٍ جنسية. تعيشُ هذه الفطرياتُ بطريقةٍ طفيلية وفي مواطنَ بيئيةٍ متعدِّدة، منها المياهُ المالحةُ والمياهُ العذبةُ واليابسة.

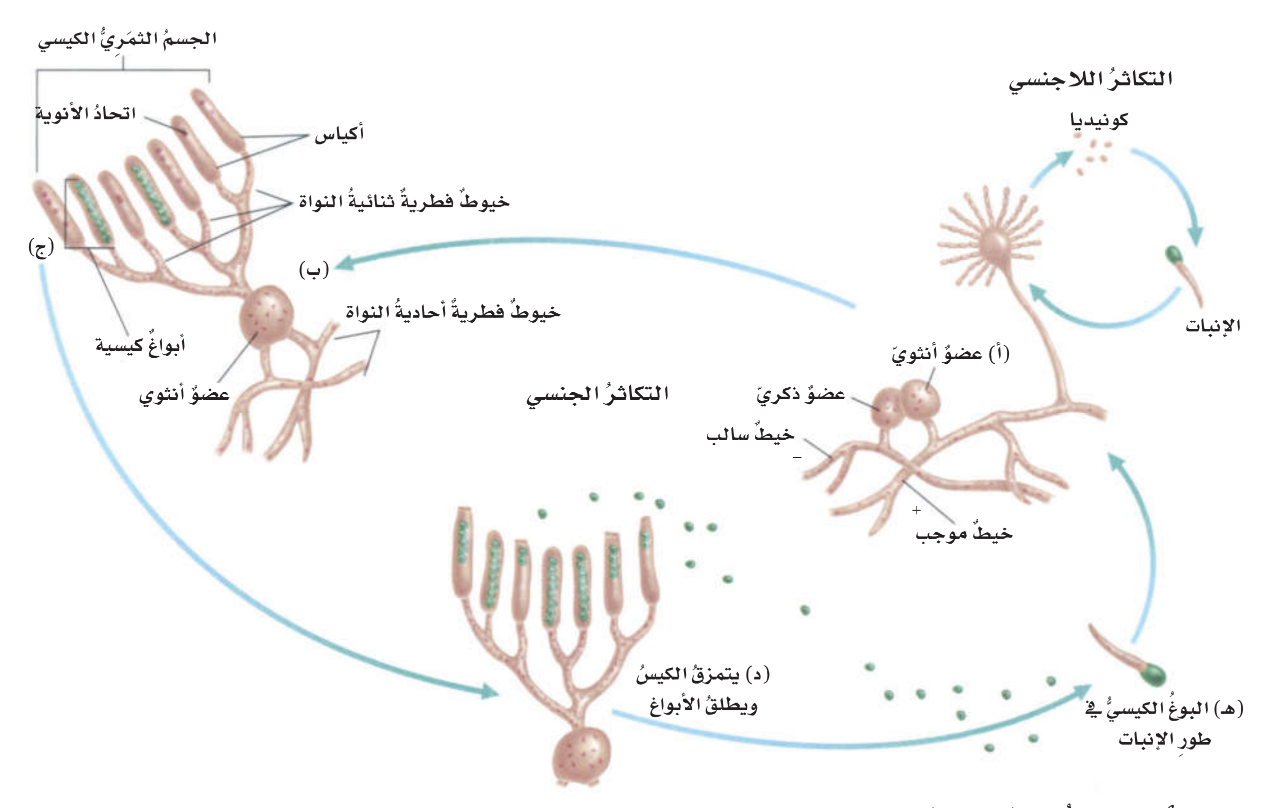
يبدأُ التكاثرُ الجنسيُّ في الفطرياتِ الكيسية، عندَما تكوّنُ الخيوطُ الفطريةُ السالبةُ

**جذرُ الكلمةِ وأصلُها**

شبهُ جذر
rhizoid
من اليونانية **rhiza** ومعناها «جذر»




**الشكل 8-4**
التكاثرُ الجنسيُّ في المشروم




**الشكل 5-8**
التكاثرُ في الفطرياتِ الكيسية.

والموجبةُ **أعضاءً أُنثويةً كيسيةً Ascogonia**، **وأعضاءً ذكريةً Antherida**، على النحوِ المبيَّنِ في الشكل 8-5. يتحدُ عضوٌ ذكريٌّ مع عضوٍ أُنثويّ، ثمّ تنمو خيوطٌ فطرية، لتشكِّلَ تركيبًا يشبهُ الكأس، يُرى بالعينِ المجردَّة، ويسمّى **الجسمَ الثمريَّ الكيسي Ascocarp**.

يتكوّنُ داخلَ الجسمِ الثمريِّ، عندَ رؤوسِ الخيوطِ الفطرية **أكياس Asci**. تتّحدُ الأنويةُ ($n$) داخلَ الأكياسِ لتكوِّنَ البويضاتِ المخصَّبة ($2n$) التي تنقسمُ انقسامًا منصِّفًا، ثم تنقسمُ انقسامًا متساويًا، لتكوّنَ ثمانيَ أنوية ($n$)، هي التي تشكِّلُ **أبواغًا كيسيةً Ascospores**، تعطي عند إنباتِها خيوطًا فطريةً جديدة. إن الخميرةَ *Saccharomyces cerevisiae* فطرياتٌ كيسيةٌ تجعلُ الخبزَ ينتفخ.

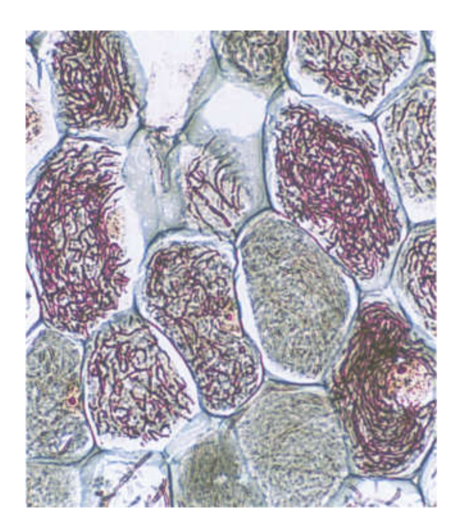
## الجدول 8-1 الشُّعَبُ الثلاثُ للفطريات

| الشعبةُ وعددُ الأنواع | التركيب | التكاثرُ اللاجنسيّ | التكاثرُ الجنسيّ (حيث يتمُّ تحديدُه) | أمثلة |
|---|---|---|---|---|
| الفطرياتُ الاقترانية 600 نوع | خيوطٌ فطريةٌ ذاتُ مدمَجٍ خلويّ | أبواغٌ من محافظَ بَوغية | يؤدي إلى إنتاجِ أبواغٍ اقترانية | العفنُ الأسودُ على الخبز، البينيسيليوم |
| الفطرياتُ الدعامية 25, 000 نوع | خيوطٌ فطريةٌ ذاتُ حواجز | نادر | تُنتجُ الدعاماتُ أبواغًا دعامية | المشروم |
| الفطرياتُ الكيسية 60, 000 نوع | خيوطٌ فطريةٌ أحاديةُ الخليةِ أو ذاتُ حواجز | كونيديا، وتكوينُ براعم | تُنتجُ الأكياسُ أبواغًا كيسية | الخميرة |



## الفطرياتُ الناقصة

إن الفطرياتِ التي تفتقرُ إلى طورٍ جنسيٍّ تُصَنَّفُ في مجموعةٍ تسمّى **الفطرياتِ الناقصة Deuteromycota**. معظمُ الفطرياتِ، التي صنّفتْ في السابق كفطرياتٍ ناقصة، يمكنُ تصنيفُها حاليًّا في شُعبةِ الفطرياتِ الكيسية. غيرَ أنّ بعضَ علماءِ الأحياءِ لا يوافقون على إعادةِ التصنيفِ هذه.



**الشكل 6-8**

خيوطٌ فطريةٌ جرى صبغُها، تعودُ إلى فطرياتٍ من نوعِ الفطرياتِ الجذرية، اخترقتْ خلايا جذورِ النبات (300×)

# الفطرياتُ الجذريةُ والأشنات

**الفطرُ الجذريُّ Mycorrhiza** تجمُّعُ تقايضٍ بين فطرٍ وجذورِ نبات، كما يظهرُ في الشكل 6-8. يمتصُّ الفطرُ الفوسفاتَ وأيوناتٍ أُخرى ويقدِّمُها إلى جذورِ النباتات. وتتلقّى الفطرياتُ بدورِها السكّريّاتِ التي قامَ النباتُ بتكوينِها من خلالِ عمليةِ البناءِ الضوئي.

**والأشناتُ Lichens**، تمثّلُ كذلكَ علاقاتِ تقايضٍ بين فطرٍ وكائنٍ حيٍّ آخرَ ذاتيِّ التغذيةِ يكونُ عادةً من البكتيريا الخضراءِ المزرقّة، أو من الطحالبِ الخضراء. يقومُ الكائنُ ذاتيُّ التغذيةِ الضوئيةِ ببناءِ السكّريات، ويقدِّمُها إلى الفطر، بينما يقدّمُ الفطرُ الماءَ والمأوى إلى الكائنِ الذي يحقّقُ عمليةَ البناءِ الضوئي. يُنتِجُ الفطرُ أحماضًا تعملُ على تحلُّلِ الصخور، ما يجعلُ الأملاحَ في متناوَلِ الأُشنة. إن التحلُّلَ الكيميائيَّ للصخورِ، بواسطةِ الأشنات، يساهمُ في عمليةِ إنتاجِ التربة. يظهرُ في الشكل 7-8 أحدُ الأمثلةِ على الأشنات.



**الشكل 7-8**

هذه الأُشنةُ الحمراءُ تنمو على الصخور.

## مراجعةُ القسم 2-8

1. ما المقصودُ بأشباهِ الجذور؟
2. قارنْ بينَ الجسمِ الثمريِّ الدعاميِّ والجسمِ الثمريِّ الكيسيّ.
3. وضّحْ أهميةَ الأشناتِ في المحيطِ البيئي.
4. صِفْ دورةَ حياةِ فطرٍ كيسي.
5. وضّحِ الفوائدَ التي تجنيها النباتاتُ والفطرياتُ الجذريةُ من العلاقةِ بينَهما.
6. **تفكيرٌ ناقد** كيف يستخدمُ الباحثونَ الأشناتِ لتحديدِ الزمنِ الذي جرى فيه نحتُ صخرٍ أثريٍّ قديم؟

القسم

# 3-8

## مؤشّراتُ الأداء

▲ يصفُ ثلاثَ طرقٍ تسبِّبُ فيها الفطرياتُ مرضًا في الإنسان.

● يصفُ أنواعَ الغذاءِ التي توفِّرها الفطريات.

■ يعطي أمثلةً على أهميةِ الفطرياتِ في الميدانِ الصناعي.

# الفطرياتُ والإنسان

الفطرياتُ ذاتُ أهميةٍ ملحوظةٍ في حياةِ الإنسان. فَبعضُها يسبِّبُ أمراضًا فتّاكةً للإنسانِ والنبات. وبعضُها الآخر يشكِّلُ مواردَ غذائيةً مهمّةً للإنسان. تُستخدَمُ الفطرياتُ في إنتاجِ موادَّ كيميائيةٍ ووقودٍ ومركّباتٍ صيدلانية.

## الفطرياتُ وأمراضُ الإنسان

يمكنُ للفطريات أن تستهدفَ، في بعضِ الأحيان، أنسجةَ النباتاتِ والحيواناتِ الحية، فتسببُ لها الأمراض. والفطرياتُ لا تستهدِفُنا نحنُ فَحسب، بل تستهدفُ مواردَنا الغذائيةَ أيضًا، وتشكِّلُ بالتالي منافسًا لنا على صعيدِ الموادِّ الغذائية. يمكنُ لأبواغِ فطرياتِ العفنِ أن تنتقلَ بواسطةِ الهواء، ويمكنُ بالتالي تنشُّقُها، فتسبِّبُ حساسيةً لدى بعضِ الناس. كذلك يمكنُ للفطرياتِ أن تصيبَ الإنسان، وتؤديَ إلى تسمُّمِه. ويمكنُ للفطرياتِ أن تصيبَ الجلدَ والشعرَ والأظافرَ في جسمِ الإنسان، ومنها فطر *Candida albicans* الذي يُصيبُ الإنسانَ بأمراضٍ في أنسجةِ الفمِ والأمعاءِ والمهبل. في الجدول 8-2 نذكرُ أمراضًا تصيبُ الإنسانَ، سببُها الفطريات.

إن المشرومَ السامَّ، وهو من نوعِ *Amanita virosa*، يُلحِقُ الضررَ بالإنسان الذي يتوهَّمُ أنه من أنواعِ المشرومِ الصالحةِ للأكل. فهو يُحدِثُ ألمًا حادًّا في البطن، وتقيُّؤًا وزحارًا، تلي ذلك فترةٌ قصيرةٌ من عودةِ العافية، لكن تحدُثُ أضرارٌ في الكبدِ والكلى والعضلات. وتستمرُّ العوارضُ ما بين ستةِ أيامٍ وثمانية. ويحدثُ الموتُ في ما بين 50% و 90%، من الحالات.

وهناكَ فطرياتٌ أُخرى تُنتِجُ سمومًا تسمّى **الأفلاتوكسينات Aflatoxins**، تتسبَّبُ بسرطانِ الكبد.



**الشكل 8-8**

نوعُ المشرومِ أمانيتا *Amanita virosa*، الظاهر في هذا الشكل، يحتوي على سمومٍ خطيرةٍ للغاية.

**الجدول 8-2** ملخصٌ لأمراضٍ تسبِّبُها الفطرياتُ للإنسان

| المرض | الأعراض | كيفيةُ الانتقال |
|---|---|---|
| قدمُ الرياضي | بثور مليئةٌ بالسوائل، قشورٌ جلدية، حكّة | ملامسةُ الإصاباتِ الجلديةِ أو الأرضياتِ الملوَّثة |
| الدودةُ الحلَقية | تشقُّقات جلديةٌ حلقية الشكل | ملامسةُ الإصاباتِ الجلدية، أو الأرضياتِ الملوثة، أو الأجسامِ الملوَّثة |
| التهابُ المهبلِ الفطري | إحساسٌ بالحرقة، حكّة، إفرازات | ملامسةُ البراز ويزيدُ من قابليةِ الإصابةِ داءُ السكّري والمعالجةُ بالمضاداتِ الحيوية. |

# الفطرياتُ في الصناعة

تُستخدمُ الفطرياتُ لإنتاجِ الكثيرِ من المنتجاتِ التي تستعمَلُ في صناعاتٍ غيرِ غذائية. يُنتجُ فطرُ البينيسيليوم البينيسيلين، وتنتجُ أنواعُ *Cephalosporium* المضاداتِ الحيويةَ ذاتَ «السفالوسبورين». أما جنسُ العفنِ الأسودِ *Rhizopus* الذي يظهرُ في الخبزِ فيسهمُ في صنعِ الكورتيزون وعقاقيرَ مماثلة.

وفطرُ خميرةِ الخبزِ *Saccharomyces cerevisiae* يؤدّي دورًا مهمًّا في الهندسةِ الوراثية، وقد استخدمَ في إنتاجِ اللقاحِ المضادِّ لالتهابٍ في الكبدِ من نوع «ب» Hepatitis B. يستخدمُ فطرُ الخميرةِ كذلك في إنتاجِ الإيثانول، وهو مركَّبٌ رئيسٌ في «الديزل» المستخدم كوقودٍ للسيارات.

## الفطرياتُ والصناعاتُ الغذائية

يشكِّلُ العديدُ من الفطرياتِ مصادرَ غذائيةً قيّمةً للإنسان. فالخمائرُ *Saccharomyces*، تشكِّلُ موادَّ غذائيةً إضافيةً مهمةً، لأنها تحتوي على فيتاميناتٍ وأملاحٍ وموادَّ غذائيةٍ أُخرى. المشرومُ والكمأ، الظاهرانِ في الشكل 8-9، يشكّلان كذلك غذاءً مهمًّا أيضًا.

يتسبَّبُ الكثيرُ من الفطرياتِ في أمراضٍ لدى النباتات. فهي تُصيبُ الحبوبَ أو الثمار، ومنها صدأُ القمحِ، وهو فطرٌ دعاميٌّ يُصيبُ حبوبَ القمح. ويمكنُ لفطرياتٍ أخرى أن تُصيبَ المحاصيلَ الزراعية، على أمثالِ الذُّرةِ والفاصوليا والبصلِ والكوسى والطماطم.

وتُنتجُ الفطرياتُ كذلك العديدَ من المركّباتِ الكيميائيةِ المهمّةِ في صناعةِ الأطعمة، كحمضِ السيتريك في المرطّبات والملبّساتِ السكّرية، وحمضِ الجلوكونيك الذي يُعطى للدجاج لتعزيزِ صلابةِ قشرةِ البيض. وتوجدُ أنواعٌ من الفطرياتِ تُستخدَمُ في إنتاجِ الفيتامين $B_2$ كمادةٍ غذائيةٍ مضافَةٍ مهمة. وهناكَ أنواعٌ من البينيسيليوم تُستخدمُ في صناعةِ الأجبانِ كجبنِ الكاممبرت والروكفورت.

**الشكل 8-9**

الكمأُ (الصورة العلوية) والمشروم (الصورة السفلية) موضعُ اهتمامِ الذوّاقة، بالنظرِ إلى مذاقِهما الطيّب.

## مراجعةُ القسم 8-3

1. وضّحْ كيف تسببُ الفطرياتُ أمراضًا للإنسان.
2. أي فطرياتٍ تسبِّبُ مرضَ قدمِ الرياضي، ومرضَ التهابِ المهبل؟
3. اذكرْ أنواعَ الأطعمةِ التي تدخلُ في صنعِها الفطريات.
4. سمِّ ثلاثَ موادَّ غيرِ غذائيةٍ، تنتجُها الفطريات.
5. كيف تنافسُ الفطرياتُ الإنسانَ على الموادِّ الغذائية؟
6. **تفكيرٌ ناقد** لمَ يؤدّي الخللُ في توازنِ الكائناتِ الحيةِ الدقيقةِ داخلَ جسمِ الإنسانِ إلى إصابتِهِ بفطرِ الخميرة، وهو مرضٌ يُصيبُهُ أيضًا إذا عولجَ بالمضاداتِ الحيوية؟

# مراجعةُ الفصل 8

## ملخص / مفردات

**1-8**

- الفطرياتُ كائناتٌ حيةٌ حقيقيةُ النواة، لا تقومُ بعمليةِ البناءِ الضوئي، ويمكنُها أن تكونَ أحاديةَ الخليةِ أو عديدةَ الخلايا.
- الفطرياتُ من أهمِّ الكائناتِ الحيةِ المترمِّمةِ في التربة. تفرزُ أنزيماتٍ إلى خارجِ الخلايا تقومُ بهضمِ الموادِّ وامتصاصِ الجزيئاتِ العضويةِ البسيطةِ من المحيطِ البيئي.
- تشكِّلُ الخيوطُ الفطريةُ كتلاً متشابكة. بعضُ أنواعِها ذاتُ حواجزَ، تفصلُ بين الخلايا.
- معظمُ الفطرياتِ تتكاثرُ بشكلين: جنسيٍّ ولاجنسيّ.

**مفردات**

**البوغُ المحفظيّ** Sporangiospore (112)
**التجزئة** Fragmentation (112)
**التبرعم** Budding (112)
**الحواجز** Septa (111)
**حاملُ المَحفظةِ البوغية** Sporangiophore (112)
**حاملُ الكونيديا** Conidiophore (112)
**الخميرة** Yeast (112)
**الخيطُ الفطري** Hypha (111)
**العفنُ الفطري** Mold (111)
**علمُ الفطريات** Mycology (111)
**الغزلُ الفطري** Mycelium (111)
**كايتين** Chitin (111)
**كونيديوم** Conidium (112)
**المدمجُ الخلوي** Coenocytic (111)

**2-8**

- شعبةُ الفطرياتِ الاقترانيةِ هي ذاتُ مدمجٍ خلوي. تتكوَّنُ الأبواغُ المحفظيةُ اللاجنسيةُ داخلَ محافظَ بوغية. التكاثرُ الجنسيُّ يؤدي إلى أبواغٍ مخصَّبة.
- تشتملُ شعبةُ الفطرياتِ الدعاميةِ على المشروم. الجسمُ الثمريُّ الدعاميُّ، هو تركيبٌ تكاثريٌّ جنسيٌّ يُنتِجُ الدعاماتِ التي تُنتِجُ الأبواغَ الدعامية.
- معظمُ الفطرياتِ موجودةٌ في شعبةِ الفطرياتِ الكيسية. يشكِّلُ تشابكُ الخيوطِ الفطريةِ جسمًا ثمريًّا يشبهُ الكأس. التكاثرُ ينتجُ أبواغًا كيسية.
- فطرُ الخميرةِ كيسيٌّ أحاديُّ الخلية، يتكاثرُ لاجنسيًّا عن طريقِ التبرعم. ويُستخدمُ في صناعةِ الخبزِ وفي الهندسةِ الوراثية.
- الفطرياتُ الجذريةُ تجمُّعُ تقايضٍ بين جذورٍ نباتيةٍ وفطريات. توفِّرُ الفطرياتُ الموادَّ الغذائيةَ للنبات، وتحصلُ هي بدورِها على موادَّ غذائيةٍ من النبات.
- الأشناتُ علاقاتٌ تقايضيةٌ بين فطرياتٍ وبكتيريا خضراءَ مزرقّةٍ أو طحالبَ خضراء. تقومُ الفطرياتُ بتحليلِ الموادِّ الغذائيةِ الموجودةِ في الصخور. الطحالبُ والبكتيريا الخضراءُ المزرقّةُ تزوِّدُ الفطرياتِ بالكربوهيدرات. والأشناتُ في غايةِ الحساسيةِ تجاهَ التغيُّراتِ في المحيطِ البيئي.

**مفردات**

**الأشنة** Lichen (116)
**البوغُ الدعامي** Basidiospore (114)
**البوغُ الكيسي** Ascospore (115)
**البويضةُ المخصَّبةُ البوغية** Zygosporangium (113)
**الجسمُ الثمريُّ الدعامي** Basidiocarp (114)
**الجسمُ الثمريُّ الكيسي** Ascocarp (115)
**الدعامة** Basidium (114)
**شبهُ الجذر** Rhizoid (113)
**العضوُ الأنثويُّ الكيسي** Ascogonium (115)
**العضوُ الذكري** Antheridium (115)
**الفطرياتُ الناقصة** Deuteromycota (116)
**الفطرُ الجذري** Mycorrhiza (116)
**الكيس** Ascus (115)

**3-8**

- فطرُ *Candida albicans* يسبِّبُ أمراضًا لدى الإنسان في أنسجةِ الفمِ والأمعاءِ والمهبل.
- الفطرياتُ تسبِّبُ أمراضًا كمرضِ قدمِ الرياضيِّ والدودةِ الحلقية، وهذه الأمراضُ سهلةُ الانتشار.
- بعضُ الفطرياتِ، تُصلحُ للأكل، ومنها الكمأ وبعضُ المشرومِ والخمائر. أما مشرومُ *Amanita* فهو من الفطرياتِ السامّة.
- تُنتِجُ الصناعةُ من الفطرياتِ مُضادّاتٍ حيويةً ووقودًا وأطعمة. وفطرُ الخميرةِ لهُ قيمةٌ من حيثُ يشكِّلُ أداةً بحثيةً ويدخُلُ في الهندسةِ الوراثية.

**مفردات**

**الأفلاتوكسين** Aflatoxin (117)

## مراجعة

### مفردات

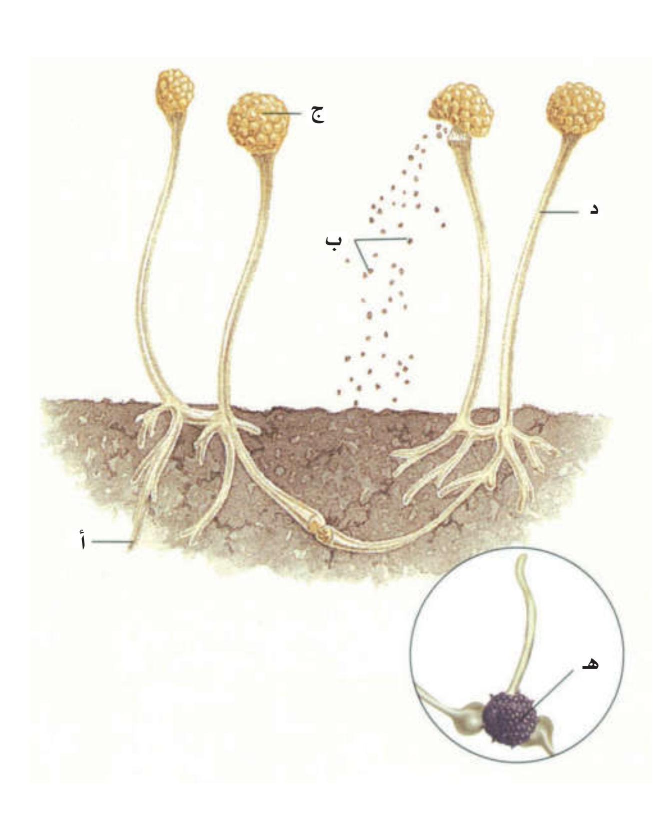
1. ميّزْ بينَ الفطرياتِ الجذريةِ وأشباهِ الجذور.
2. ميّزْ بينَ حاملِ المحفظةِ البوغيةِ والبوغِ المحفظي.
3. ميّزْ بينَ الجسمِ الثمريِّ الكيسيِّ، والكيس.
4. ميّزْ بينَ الدعامةِ والبوغِ الدعامي.

### اختيارٌ من متعدد

5. الخيوطُ الفطريةُ لشعبةِ الفطرياتِ الاقترانيةِ تعدُّ (أ) مدمجًا خلويًّا (ب) أحاديةَ النواة (ج) دون نواة (د) بلازمودية.
6. المشرومُ الصالحُ للأكل يُصنَّفُ في شُعبةِ (أ) الفطرياتِ الدعامية (ب) الفطرياتِ الكيسية (ج) العفنِ المائي (د) الفطرياتِ الاقترانية.
7. توصَفُ الفطرياتُ التي تتغذّى بالموادِّ العضويةِ المتحلِّلةِ بأنها (أ) مترمِّمة (ب) طفيلية (ج) تكافلية (د) تقايضية.
8. يمكنُ عادةً العثورُ على فطرِ العفنِ الأسود *Rhizopus* ناميًا (أ) في التربة (ب) في الفاكهة (ج) في الخبز (د) في الأخشابِ المتحلِّلة.
9. الجدرانُ التي تفصِلُ بين الخلايا في الخيوطِ الفطرية، تُعرفُ باسم (أ) أشباهِ الجذور (ب) الخياشيم (ج) الدعامات (د) الحواجز.
10. تمثِّلُ الأشناتُ تجمُّعاتِ تقايضٍ بينَ الفطريات و (أ) الجذور (ب) الديدانِ الحلقية (ج) العفنِ المائي (د) الطحالبِ الخضراء.
11. إنَ التراكيبَ التي توجدُ في خياشيمِ الفطرياتِ وتحملُ الأبواغَ تسمّى (أ) الدعامات (ب) حاملاتِ الكونيديا (ج) الأجسامَ الثمريةَ الدعامية (د) الأجسامَ الثمريةَ الكيسية.
12. في الفطرياتِ الجذريةِ يعيشُ الفطرُ علاقةً تقايضيةً مع (أ) فيروس (ب) فطرٍ غروي (ج) نبات (د) بكتيريا.
13. جميعُ أمراضِ الإنسانِ التاليةِ سببُها الفطرياتُ **باستثناء** (أ) الدودةِ الحلقية (ب) قدمِ الرياضي (ج) التهابِ المهبلِ الفطري (د) الإنفلونزا.

### إجابة قصيرة

14. ما أوجهُ الشبهِ بين التراكيبِ التكاثريةِ الجنسيةِ عندَ الشُّعبِ الثلاثِ للفطريات؟ وما أوجهُ الاختلافِ بينها؟
15. وضّحْ ماهيةَ صدأِ القمحِ وكيفيةَ تأثيرِه على الإنسان.
16. ما أوجهُ الشبهِ بين الفطرياتِ الجذريةِ والأُشنة.
17. صفْ ثلاثَ طرقٍ تجعلُ الفطرياتِ تُسبِّبُ أمراضًا في الإنسان، وثلاثَ طرقٍ تجعلُ الفطرياتِ مفيدةً للإنسان، أو صالحةً للاستعمال من قبله.
18. حدّدِ التراكيبَ المشارَ إليها بالأحرف، في الشكل التالي. ما الشُّعبةُ التي يمثِّلُها هذا الكائنُ الحي؟




## تفكيرٌ ناقد

1. العديدُ من الفطرياتِ ذو سُمٍّ قاتلٍ للثدييات. ما فائدةُ السمومِ للفطر؟
2. قبلَ اكتشافِ المضاداتِ الحيويةِ بكثير، كان شائعًا تضميدُ الجروحِ بقطعٍ من الخبزِ المتعفِّن. وضّحِ السببَ الذي جعلَ هذه الطريقةَ تساهمُ في اندمالِ الجروح.
3. بعضُ الفطريات، كالبينيسليوم، تشكِّلُ نوعًا من الحربِ الكيميائيةِ التي تخاضُ ضدَّ كائناتٍ حيةٍ دقيقة، وذلك من خلالِ إنتاجِ موادَّ كيميائيةٍ، تنتشرُ إلى الخارجِ وتقتلُ الكائناتِ الحيةَ الدقيقةَ الموجودةَ في الجوار. وضّحْ كيف تحقّقُ عمليةُ إنتاجِ المضاداتِ الحيويةِ فائدةً للفطريات.

4. تنمو معظمُ الفطرياتِ على أفضلِ وجه، عندَ درجاتِ حرارةٍ تُراوحُ بينَ 15 و 21 درجةً مئوية. إلا أن نوعَ الفطرِ أسبيرجللس *Aspergillus fumigatus* يقدِرُ على العيشِ والنموِّ بشكلٍ جيدٍ عندَ حرارة 37 درجةً مئوية. بناءً على ذلك، أين يُفترضُ أن يوجدَ هذا الفطرُ وينمو؟

5. تبتلعُ ذبابةُ الفاكهةِ الشائعة *Drosophila* عصارةَ الثمارِ الناضجةِ وفطرياتِ الخميرة. كيف يمكنُ لذبابةِ الفاكهةِ هذهِ أن تساهمَ في تسريعِ التحلُّلِ الطبيعيِّ للفاكهة؟

## توسيعُ آفاقِ التفكير

1. اكتبْ بحثًا حول اكتشافِ البينيسيلين والعقاقيرِ الأخرى المشتقَّةِ من الفطريات، مبيِّنًا الدورَ الذي قامتْ به الفطرياتُ، كمسبِّباتٍ لأمراضٍ متنوِّعة.

2. حضِّرْ زرعًا لفطرِ الخميرةِ بإضافةِ قليلٍ من خميرةِ الخبزِ إلى مزيجٍ من تسعةِ أجزاءٍ من الماءِ وجزءٍ واحدٍ من محلولِ السكّر. دعِ الزرعَ يتخمّرْ، وراقبْهُ تحتَ المجهر. ضعْ رسمًا لخلايا عديدةٍ من الخميرة، وتعرّفْ جيدًا الأجزاءَ الخلويةَ التي تراها.

# الوحدة 3

# النبات

الفصول





ألوانُ أوراقِ الخريفِ هذه براقةٌ لأنها فقدتْ معظمَ ما لديْها من الكلوروفيل.



لنباتِ الفراولةِ سوقٌ قادرةٌ على تكوينِ نباتاتٍ جديدة.

لنباتِ الرافليزيا أكبرُ الأزهارِ المعروفةِ حجمًا. وهذهِ الأزهارُ، على الرغم من كونها كبيرةً وجميلة، تصدرُ رائحةَ لحمٍ متعفنٍ وتجتذبُ الذبابَ كحيواناتٍ مُلقِّحة.

نَمتْ كتلة القطن هذه، انطلاقًا من مبيضِ زهرةِ نباتِ القطن.

صبّارٌ سحلبيّ

# الفصـــــل 9

# النبات: تصنيفُه وتركيبُه ووظائفُه



ضفادعُ الشجرِ ذاتُ العيونِ الحمراءِ تظهرُ وهي تتسلّقُ الزهرةَ الملوّنةَ لنباتِ Heliconia. تعيشُ هذه الكائناتُ الحيةُ في الغابةِ المطيرةِ الاستوائية، التي تشكّلُ موطنًا لما يقاربُ نصفَ أنواعِ النباتاتِ والحيواناتِ في العالمِ.



**المفهومُ الرئيس:** تركيبُ الخليةِ ووظائفُها

لاحظ، وأنتَ تقرأ، أن لجذورِ النباتِ وسوقِهِ وأوراقِهِ وظائفَ مختلفة. فالأنسجةُ النباتيةُ منظّمةٌ بشكلٍ يمكّنُها من القيامِ بوظائفَ تخصّصية.

القسم

1-9

مؤشّراتُ الأداء

▲ يذكرُ الخصائصَ المميّزةَ التي تشتركُ فيها النباتات.

● يقارنُ بينَ النباتاتِ الوعائيةِ والنباتاتِ اللاوعائية.

■ يوضحُ أهميةَ الحزازيات.

◆ يذكرُ خاصّتَين رئيسيّتين للنباتاتِ الوعائية.

▲ يميّزُ بين النباتاتِ البذريةِ والنباتاتِ اللابذرية.

● يميّزُ بين مُعرّاةِ البذور ومُغطّاةِ البذور.

■ يميّزُ بين ذواتِ الفلقةِ الواحدةِ وذواتِ الفلقتَين.

# تنوّع النبات

تسودُ النباتاتُ اليابسةَ والعديدَ من المساحاتِ المائية. وهي تُظهِرُ تنوُّعًا هائلاً. فَبعضُها لا يتعدّى قياسُ عرضِه مليمترًا واحدًا. وبعضُها الآخَر ينمو ليصلَ إلى ارتفاعٍ يتعدّى 100 متر. وتشتملُ الشُّعبُ، أو الأقسامُ الاثنا عشرَ في مملكةِ النبات، على ما يزيدُ عن 270,000 نوع.

## تصنيفُ النبات

يمكنُ الاطلاعُ على تصنيفِ النباتِ في الجدول 1-9. فبالاستنادِ إلى وجودِ النسيجِ الوعائيِّ في النباتِ، تصنَّفُ أقسامُ النباتِ الاثنا عشرَ في مجموعتَين. الأقسامُ الثلاثةُ **للنباتاتِ اللاوعائية Nonvascular plants** تفتقرُ إلى النسيجِ الوعائيِّ الحقيقيِّ والجذورِ والسوقِ والأوراقِ الحقيقية. لاحظْ في الجدول 1-9 أن **النباتات الوعائية Vascular plants**، تقسمُ إلى مجموعتَين: مجموعةِ **النباتات اللابذرية Seedless plants** التي تشتملُ على قسمِ السرخسياتِ، وعلى ثلاثةِ أقسامٍ أُخرى مرتبطةٍ بالسرخسيات؛ ومجموعةِ **النباتات البذرية Seed plants**، التي تُنتِجُ البذورَ للتكاثر. تشتملُ النباتاتُ البذريةُ على أربعةِ أقسامٍ من **مُعرّاة البذور Gymnosperms**، وهي تضمُّ الأشجارَ الصنوبريةَ التي تُنتِجُ بذورًا لا توجدُ في الثمار. وتشتملُ النباتاتُ البذريةُ أيضًا على قسمٍ واحدٍ من **مُغطّاة البذور Angiosperms** يُعرفُ أيضًا باسْمِ النباتاتِ الزهرية، التي تُنتِجُ داخلَ ثمارِها الواقيةِ بذورًا، ومنها أشجارُ التفاحِ والليمون.

**الجدول 1-9** الأقسامُ الاثنا عشرَ في مملكةِ النبات

| أنواعُ النباتات | القسم | العدد التقريبي للأنواع |
|---|---|---|
| لاوعائية | الحزازياتُ الحقيقية | 10,000 |
| | الحزازياتُ الكبدية | 6,500 |
| | الحزازياتُ القرنية | 100 |
| وعائية، لابذرية | السرخسيات الصلعائية | 13 - 10 |
| | النباتاتُ الصولجانية | 1,000 |
| | ذيلية الحصان | 15 |
| | السرخسيات | 12,000 |
| وعائية، بذرية مُعرّاةُ البذور | السيكاديّات | 100 |
| | الجنكوزات | 1 |
| | المخروطيات | 550 |
| | الجينتوفايتية | 70 |
| مُغطّاةُ البذور | النباتاتُ الزهرية | 240,000 |
| | صنفُ ذواتِ الفلقةِ الواحدة | 70,000 |
| | صنفُ ذواتِ الفلقتَين | 170,000 |

## الحزازيات

**الحزازيات Bryophyta** نباتاتٌ لاوعائيةٌ، صغيرةٌ للغاية، يبلغُ ارتفاعُها عادةً 1-2 cm. تعيشُ أكثرُ الحزازياتِ على اليابسة، إلاّ أنها تحتاجُ إلى الماء كي تتكاثرَ جنسيًّا، وذلك لأنّ الخلايا الجنسيةَ الذكريةَ تسبحُ في الماءِ كي تبلغَ البُويضة.

تشتمل الحزازياتُ على ثلاثةِ أقسام، نذكرُ منها قسمَ الحزاز.

### قسمُ الحزاز

يتكوّنُ جسمُ نبتةِ الحزاز، الشكل 9-1، من قسمَين، قسمٍ مشيجيٍّ شبهِ ورقيّ، وقسمٍ بوغيٍّ بمثابةِ شبهِ ساق. القسمُ المشيجيُّ مثبّتٌ في التربة بواسطةِ تراكيبِ جذور، تفتقرُ إلى النسيجِ الوعائي، إلا أنها تمتصُّ الماءَ والموادَّ الغذائيةَ غير العضويةِ كما تفعلُ الجذور. والقسمُ البوغيُّ مثبّتٌ بالقسمِ المشيجي ويعتمدُ عليه.

تُمثِّلُ الحزازياتُ الأنواعَ الأُولى الرائدةَ التي تعيشُ في مناطقَ جرداء. ولها دورٌ مهمٌّ في المحيطِ البيئي، لأنها تُسهمُ في تكوينِ طبقةٍ من التربةِ غنيةٍ بالموادِّ العُضويةِ والموادِّ غيرِ العضوية، ويمكنُ لنباتاتٍ أُخرى أن تنموَ عليها. وتحدُّ الحزازياتُ من انجرافِ التربة، بتغطيتِها لسطحِ التربةِ وامتصاصِ الماء.

ومن الحزازِ **السفاجنوم Sphagnum** أو فحمُ البيت Peat، وهو جنسٌ حزازيٌّ يتمُّ تجفيفُهُ لاستخدامِهِ كوَقود. كما أنه يُنتجُ حمضًا يبطِّئُ التحلّل. يتّصفُ السفاجنوم بقدرتِهِ على امتصاصِ الماء وحفظِه. لذلك يُضافُ إلى تربةِ الحدائقِ والبيوتِ الزجاجية، كما يُستخدَمُ في توضيبِ البصيلاتِ والأزهارِ المعدّةِ للتصدير.




**الشكل 9-1**
النبات البوغي للحزازيات تعتمد على النبات المشيجي، لأن النباتات البوغية غير قادرة على البناء الضوئي، لذلك تتصل بالنباتات المشيجية.

## النباتاتُ الوعائية

تحتوي النباتاتُ الوعائيةُ على أنسجةٍ ناقلةٍ متخصِّصة (كالنسيجِ الخشبيِّ واللحاء)، وهي تنقلُ الماءَ والموادَّ المذابةَ من جزءٍ إلى جزءٍ آخر في النبات. ويمكنُ للنباتاتِ الوعائيةِ أن تنموَ حتى بلوغِ حجمٍ يفوقُ حجمَ النباتاتِ اللاوعائية، وأن تعيشَ في عددٍ أكبرَ من أنواعِ المحيطاتِ البيئيةِ التي تعيشُ فيها النباتاتُ اللاوعائية. تسمحُ السوقُ القويةُ للنباتاتِ الوعائيةِ بأن تنموَ حتى أطوالٍ كبيرة، تعلو بها نباتاتٍ أخرى، وتمكِّنُها من تلقّي مقدارٍ من ضوءِ الشمسِ يفوقُ ما تتلقّاهُ النباتاتُ القصيرة.

تُقسمُ النباتاتُ الوعائيةُ إلى مجموعتين، النباتاتِ البذرية والنباتاتِ اللابذرية.



**الشكل 9-2**
السرخسياتُ الشجريةُ، الظاهرةُ هنا، تبدو كأنها أشجارُ نخيل، إلا إنها في الحقيقة أكبرُ السرخسيات. وتنمو بعضُ السرخسياتِ ملتصقةً بسُوقِ سرخسياتٍ شجرية. وغالبًا ما يتمُّ زرعُ السحلبياتِ وتنميتُها على قطعِ سوقِ سرخسياتٍ شجرية. والسرخسياتُ الشجريةُ تعيشُ في المناطقِ المداريةِ وشبهِ المدارية.

# النباتاتُ الوعائيةُ اللّابذرية

النباتاتُ الوعائيةُ اللّابذريةُ تخلو من البذور. لكنها بدلاً من ذلك تنتجُ الأبواغَ التي تشكِّلُ أجزاءً تكاثريةً متحرِّكة. وتشتملُ هذه النباتاتُ على أربعةِ أقسام، نذكرُ منها قسم السرخسيات.

## قسمُ السرخسيات

تمثِّلُ السرخسياتُ Pterophyta مجموعةً متنوِّعةً من النباتاتِ الوعائيةِ اللابذرية، وبعضُها نباتاتٌ طافية. يراوحُ ارتفاعُ السرخسياتِ بينَ أقلَّ من 1 cm سم و 25 m، ومثالُها السرخسياتُ الشجريةُ الظاهرةُ في الشكل 9-2. لدى معظم السرخسياتِ ساقٌ تنمو تحتَ الأرضِ تُسمّى **الرايزوم Rhizome**. وتُستخدمُ الرايزوماتُ الليفيةُ لبعض السرخسيات، بصورةٍ شائعة، كوسطٍ لزرعِ السحلبيات وتنميتها. وللسرخسياتِ أوراقٌ بالغةٌ تُسمّى **الورقةَ السرخسية Frond**، وتحملُ في جهتِها السفلى محافظَ بوغية.

# النباتاتُ الوعائيةُ البذرية

إن الجزءَ التكاثريَّ المتحرِّكَ للنباتاتِ البذريةِ هو البذرةُ عديدةُ الخلايا. عندَما تكونُ الظروفُ ملائمةً للنموِّ، يتمُّ **إنباتُ Germination** البذرة، أي إن الجنينَ يبدأُ بالنموِّ إلى أن يصبحَ نبتةً صغيرةً تُسمّى **البادرة Seedling**.

يوجدُ مجموعتانِ رئيستانِ من النباتاتِ الوعائيةِ البذرية، هما معرّاةُ البذورِ ومغطّاةُ البذور. تُنتجُ معرّاةُ البذورِ بذورًا عادية، لا توجدُ داخلَ ثمارٍ تحميها. ومعظمُ معرّاةِ البذورِ نباتاتٌ دائمةُ الاخضرارِ تحملُ بذورَها داخلَ **مخاريط Cones**. أما مغطّاةُ البذورِ فهيَ تنتجُ بذورًا داخلَ ثمارٍ واقية، وتُعرفُ باسمِ النباتاتِ الزهرية. وتشتملُ معرّاةُ البذورِ على أربعةِ أقسام، نذكرُ منها قسمَ المخروطيات.

## قسمُ المخروطيات

يشتملُ قسمُ المخروطياتِ Coniferophyta على الصنوبريات، ومنها أشجارُ الصنوبرِ والأرزِ والبَيسيّةِ والعرعر، وهي مُعرّاة البذور. وتشكّلُ المخروطياتُ مصادرَ مهمةً جدًّا للخشبِ والورقِ والتوربنتين وأشجارِ الميلاد.

عند معظمِ الصنوبرياتِ أوراقٌ إبريةٌ أو حرشفيةُ الشكل، كما يظهرُ في الشكل 9-3. ويحملُ الصنوبرُ عادةً مخاريطَ أنثويةً ومخاريطَ ذكريةً معًا. تُطلِقُ المخاريطُ الذكريةُ الصغيرةُ حبوبَ اللقاحِ التي تُبَثُّ داخلَ المخاريطِ الأنثوية، وهيَ الأكبرُ حجمًا، وفيها توجدُ البويضاتُ غيرُ المخصَّبة، التي يحدثُ فيها الإخصاب.

## قسمُ النباتاتِ الزهرية

قسمُ النباتاتِ الزهرية Anthophyta، هو أكبرُ أقسامِ النباتات، ونباتاتُهُ مغطّاةُ البذور، وتتَّصفُ بالأزهارِ والثمار. **والمبيض Ovary**، أي الجزءالأنثويُّ من الزهرة،

**نشاطٌ عمليٌّ سريع**

**تفحُّصُ السرخسيات**

**المواد** قفّازاتٌ للاستعمالِ لمرّةٍ واحدة، معطفُ مختبر، نباتُ سرخسٍ مزروعٌ في وعاء، عدسةُ يد، ماء

**الإجراء**

1. البس القفّازات، ومعطفَ المختبر.
2. اختر ورقةَ سرخسٍ وتفحَّصْ جهتَها السفلية، بحثًا عن تراكيبَ تحتوي على أبواغ.
3. أزلِ التربةَ عن الساقِ الرايزومية، لفحصِ السوقِ الأفقيةِ والجذورِ في السرخس.

**التحليل** بِمَ تختلفُ السرخسياتُ عن النباتاتِ اللّاوعائية؟ ما الذي يجعلُ السرخسياتِ متميِّزةً من النباتاتِ اللّاوعائية، من حيثُ ارتفاعُها وحجمُها؟ من أي جزءٍ من السرخسِ تنشأُ الأوراقُ السرخسية؟


(أ) أوراقُ التنوبِ (Fir) الإبريةُ ومخاريطُه


(ب) أوراقُ الصنوبرِ (Pine) الإبريةُ ومخاريطُهُ


(ج) أوراقُ الطقسوسِ (Yew) الإبريةُ وبذورُه

**الشكل 9-3**
أوراقُ الصنوبرياتِ الإبريةُ ومخاريطُها ذاتُ أشكالٍ وحجومٍ مختلفة. (أ) شجرُ التنوُّبِ يعرُضُ مخاريطَهُ الأنثوية. وتنمو أوراقُهُ الإبريةُ حولَ الغصنِ بأكمله. (ب) تكشِفُ شجرةُ الصنوبرِ عن مخاريطِها الذكريةِ الصغيرة، ومخاريطِها الأنثويةِ الأكبرِ حجمًا. وبعضُ أشجارِ الصنوبرِ يصلُ ارتفاعُه إلى 60 مترًا. (ج) بذرةُ شجرةِ الطقسوسِ محاطةٌ بغطاءٍ أحمرَ يشبهُ حبّةَ التوت. وأوراقُ الطقسوسِ إبريةٌ مسطّحةٌ ومسنّنة.

يتضمَّنُ البويضةَ، (أو البويضات). تنمو مغطّاةُ البذورِ بأشكالٍ متنوِّعة، وتحتلُّ مواطنَ بيئيةً مختلفة، بعضُها عشبيّ، وبعضُها الآخرُ يتكوَّنُ من شجيراتٍ أو نباتاتٍ متسلِّقةٍ أو من أشجارٍ تتَّصفُ بسوقٍ خشبية.

## النباتاتُ ذواتُ الفلقةِ الواحدةِ والنباتاتُ ذواتُ الفلقتَين

تقسمُ النباتاتُ الزهريةُ إلى مجموعتين، هما **ذواتُ الفلقةِ الواحدة Monocots** و**ذواتُ الفلقتَين Dicots**. يبيِّنُ الجدول 9-2 الخصائصَ التي تستخدمُ لتمييزِ ذواتِ الفلقةِ الواحدةِ من ذواتِ الفلقتَين.

**الجدول 9-2 مقارنةٌ بين ذواتِ الفلقةِ الواحدةِ وذواتِ الفلقتين**

| نوعُ النبات | الجنين | الأوراق | السوق | أجزاء الزهرة | أمثلة |
|---|---|---|---|---|---|
| ذاتُ الفلقة الواحدة | فلقةٌ واحدة | عروقٌ متوازية | حزمٌ وعائيةٌ مبعثرة | وفقَ تجميعٍ ثلاثي | الزنابق، السحلبيات، النخيل، التوليب، الموز، الأناناس، البصل، القصب، جوز الهند، القمح، الذرة، الأرز، الشوفان، الشعير، قصبُ السكر. |
| ذاتُ الفلقتَين | فلقتان | عروقٌ شبكية | حزمٌ وعائيةٌ منتظمةٌ وفقَ حلقة | وفقَ تجميعٍ رباعيٍّ أو خماسي | الفاصوليا، اللوبيا، الخس، السنديان، الورد، القرنفل، الصبّاريات، معظمُ أشجارِ الغاباتِ ذواتِ الأوراقِ الكبيرةِ الحجم. |

## مراجعةُ القسم 9-1

1. ما الاختلافُ الرئيسُ بين النباتاتِ الوعائيةِ والنباتاتِ اللاوعائية؟
2. اذكرْ خاصّتَين تشتركُ فيهما جميعُ الحزازيات.
3. ما الاستخداماتُ الرئيسةُ لحزازِ السفاجنوم؟
4. ما أوجهُ الاختلافِ الرئيسةُ بين معرّاةِ البذورِ ومغطّاةِ البذور؟
5. ما الخصائصُ الثلاثُ التي تميِّزُ بينَ ذواتِ الفلقةِ الواحدةِ وذواتِ الفلقتَين؟
6. **تفكيرٌ ناقد** كيف يستخدمُ الإنسانُ النباتاتِ الوعائيةَ اللابذريةَ والنباتاتِ البذرية؟

القسم

**9-2**

**مؤشّراتُ الأداء**

▲ يصفُ ثلاثةَ أنواعٍ من الخلايا النباتية.

● يوضحُ أوجهَ الاختلافِ بين الأنواعِ الثلاثةِ للأنسجةِ النباتية.

■ يصفُ الأنواعَ الرئيسةَ للأنسجةِ المولِّدة.

◆ يميِّزُ بينَ الأنسجةِ المولِّدةِ في ذواتِ الفلقةِ الواحدةِ وذواتِ الفلقتَين.

▲ يميِّزُ بين النموِّ الأوَّليِّ والنموِّ الثانوي.

# الخلايا والأنسجةُ النباتية

تصبحُ خلايا النباتِ، في أثناءِ نموِّه، متخصِّصةً في أداءِ وظائفَ معيَّنة. وتختلفُ أنماطُ الأنسجةِ المتخصّصةِ في كلِّ عضوٍ من أعضاءِ النباتِ المشتملةِ على الجذرِ والساقِ والورقة. إنها تختلفُ أيضًا بحسبِ مرحلةِ نموِّ النبات، ومجموعةِ التصنيفاتِ التي ينتمي إليها.

## الخلايا النباتيةُ المتخصِّصة

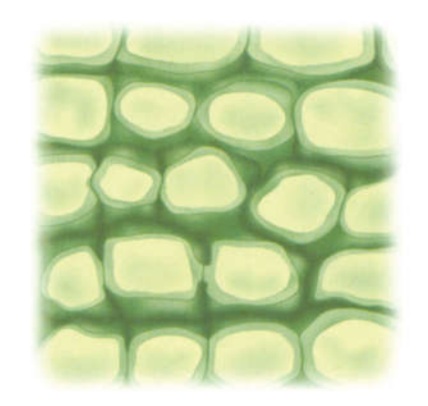
الكائناتُ الحيةُ كلُّها مكوّنةٌ من خلايا. والخليةُ النباتيةُ تتميَّزُ باحتوائِها على فجوةٍ مركزية، وبلاستيداتٍ وجدارٍ خلويٍّ سميكٍ يحيطُ بالغشاءِ الخلوي. هذه الخصائصُ العامةُ توجَدُ في الأنواعِ الثلاثةِ للخلايا النباتيةِ المتخصِّصة: البرنكيميةِ والكولنكيميةِ والسكلرنكيمية، الشكل 9-4.

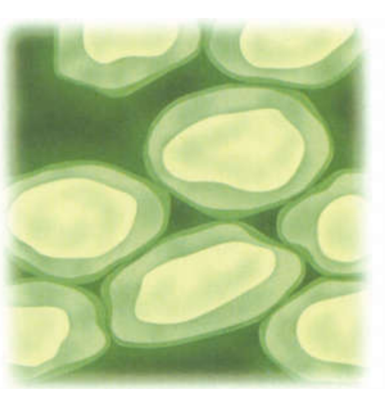
**الخلايا البرنكيمية Parenchyma** غيرُ متراصّة، وهي مكعَّبةُ الشكل، تحتوي على فجوةٍ مركزيةٍ كبيرة، ولها جدرانٌ خلويةٌ رقيقةٌ مرنة. وهي معنيةٌ بالوظائفِ الأيضيةِ العديدة، ومن ضمنِها البناءُ الضوئيُّ وتخزينُ الماءِ والموادِّ الغذائية.

**الخلايا الكولنكيمية Collenchyma** طوليةُ الشكل غيرُ منتظمة، لكنها أكثرُ سماكةً من جدرانِ الخلايا البرنكيمية. توفِّرُ هذه الخلايا الدعمَ والإسناد.

**الخلايا السكلرنكيمية Sclerenchyma** منتظمة، مزوَّدةٌ بجدرانٍ خلويةٍ سميكةٍ ومتينة. إنها بمثابةِ دعامةٍ للنباتاتِ التي توقَّفَ نموُّها طوليًّا. وهذا النوعُ من الخلايا يموتُ عادةً عندَ البلوغ، ويوفِّرُ إطارًا داعمًا للنبات.

**الشكل 9-4**
تتكوَّنُ النباتاتُ من الخلايا المتخصِّصة.
(أ) الخلايا البرنكيمية هي عادةً مكعَّبةُ الشكل، وذاتُ جدرانٍ رقيقة. (ب) الخلايا الكولنكيمية طوليةُ الشكل، وذاتُ جدرانٍ خلويةٍ تتَّصفُ بسماكةٍ غيرِ منتظمة. (ج) الخلايا السكلرنكيمية ذاتُ الشكلِ المكعَّبِ أو الطولي، وذاتُ الجدرانِ الخلويةِ السميكةِ والصلبة.


(أ) الخلايا البرنكيمية


(ب) الخلايا الكولنكيمية


(ج) الخلايا السكلرنكيمية

# الأنسجةُ النباتية

الخلايا التي تعملُ معًا على تنفيذِ وظيفةٍ محدَّدةٍ تكوِّنُ نسيجًا. والأنسجةُ النباتيةُ ثلاثةُ أنواع، نسيجُ البشرة، والنسيجُ الأساسي، والنسيجُ الوعائي. وهي ملخَّصةٌ في الجدول 3-9. تكوِّنُ هذه الأنسجةُ الأعضاءَ الثلاثةَ الرئيسةَ للنبات، وهي الجذورُ والسُّوقُ والأوراق.

## نسيجُ البشرة

يشكِّلُ **نسيجُ البشرةِ Dermal tissue** الغطاءَ الخارجيَّ للنبات، الذي يتكوَّنُ من **البشرةِ الخارجيةِ Epidermis** المؤلَّفةِ من الخلايا البرنكيمية. وغالبًا ما يكونُ الجدارُ الخارجيُّ للبشرةِ الخارجيةِ مغلَّفًا بطبقةٍ شمعيةٍ تُسمّى **كيوتيكل Cuticle** تمنعُ فَقْدَ الماء. بعضُ خلايا البشرةِ الخارجية، في الجذور، تتَّصفُ بامتداداتٍ شَعْريةِ الشكل، تزيدُ من امتصاصِ الماء. والفتحاتُ الموجودةُ في البشرةِ الخارجيةِ للأوراقِ والسوقِ تُسمّى الثغور Stomata. وهي تنظِّمُ مرورَ الغازاتِ وبخارِ الماءِ من النباتِ وإليه. ويتمُّ في السوقِ الخشبيةِ والجذور استبدالُ البشرةِ الخارجيةِ بخلايا فلّينيةٍ ميتة.

## النسيجُ الأساسي

تحيطُ أنسجةُ البشرةِ **بالأنسجةِ الأساسية Ground tissues**، التي تتكوّنُ من الأنواعِ الثلاثةِ للخلايا النباتية. وللأنسجةِ الأساسيةِ دورٌ في تخزينِ الموادِّ وعملياتِ الأيضِ والدعم.

**الجدولُ 3-9 خصائصُ الأنسجةِ النباتية**

| النسيج | نوعُ الخلايا | الموقع | الوظيفةُ في الجذور | الوظيفةُ في السوق | الوظيفةُ في الأوراق |
|---|---|---|---|---|---|
| **نسيجُ البشرة** | خلايا برنكيمية، حية،مسطَّحة، (خلايا البشرةِ الخارجية) في الأجزاءِ غيرِ الخشبية. خلايا برنكيمية، ميتة، مسطَّحة، (خلايا فلينية) في الأجزاءِ الخشبية. | طبقاتُ الخلايا الخارجية | الامتصاص والحماية | تبادلُ الغازات والحماية | تبادلُ الغازات والحماية |
| **النسيجُ الأساسي** | خلايا برنكيمية في معظمِها، عادةً مع بعضِ خلايا كولنكيمية وقليلٍ من الخلايا السكلرنكيمية. | ما بين نسيجِ البشرة والنسيجِ الوعائي، في أجزاءِ النباتاتِ غيرِ الخشبية | الدعمُ والتخزين | الدعمُ والتخزين | الدعمُ والتخزين |
| **النسيجُ الوعائي** | خلايا مستطيلة – نسيجٌ خشبيٌّ ميت ولحاءٌ حيّ، كذلك خلايا برنكيمية وخلايا إسكلرنكيمية (ألياف). | أنابيبُ عبرَ النبات | النقلُ والدعم | النقلُ والدعم | النقلُ والدعم |

## النسيجُ الوعائي

يحيطُ النسيجُ الأساسيُّ **بالنسيجِ الوعائيِّ Vascular tissue** الذي يعملُ في وظائفِ النقلِ والدعم. ويشيرُ تعبيرُ النسيجِ الوعائيِّ إلى النسيجِ الخشبيِّ واللحاءِ معًا. والنسيجُ الخشبيُّ ينقلُ الماءَ والموادَّ والأملاحَ من الجذورِ، صعودًا، عبرَ النبتة. يوفِّرُ النسيجُ الخشبيُّ أيضًا الدعمَ للنبات. أمّا نسيجُ اللحاءِ فينقلُ المركّباتِ العضويةَ وبعضَ الأملاحِ إلى جميعِ أجزاءِ النبتة.

يتألَّفُ النسيجُ الخشبيُّ من مكوِّنينِ اثنَينِ رئيسيَّين، هما القصيباتُ والأوعيةُ الخشبية، وتكونُ الخلايا فيها ميتة. **فالقُصيبةُ Tracheid** خليةٌ إسكلرنكيمية واحدةٌ طويلة، كما في الشكل 9-5 أ. وينتقلُ الماء من قصيبةٍ إلى أخرى عبرَ فتحاتٍ في الجدارِ الخلويِّ، تُسمّى **النقر Pits**. **والوعاءُ الخشبيُّ Xylem Vessel**، كما في الشكل 9-5 ب. يتكوَّنُ من خلايا إسكلرنكيمية لها فتحاتٌ كبيرةٌ عندَ الجدرانِ العليا والسفلى، أو ليسَ فيها جدرانٌ طرفيةٌ على الإطلاق. تصطفُّ هذه الخلايا بحيثُ تشكِّلُ أنابيبَ طويلة. ويشتملُ نسيجَ اللحاءِ على **أنابيبَ غرباليةٍ Sieve tubes**، كما في الشكل 9-5 ج، تتكوَّنُ من خلايا برنكيميةٍ يصطفُّ بعضُها فوقَ بعض، بحيثُ تنتقلُ المركّباتُ من خليةٍ إلى أخرى عبرَ جدرانٍ مثقَّبةٍ مستعرِضةٍ تُسمّى **الصفائحَ الغرباليةَ Sieve plates**. ويقعُ كلُّ أنبوبٍ غرباليٍّ بجوارِ خليةٍ برنكيميةٍ تسمّى **الخليةَ المرافقةَ Companion cell**، التي تساهمُ في عمليةِ النقل. ويحتوي نسيجُ اللحاء أيضًا على خلايا إسكلرنكيميةٍ، تسمّى أليافًا. وأليافُ القنَّبِ والكتّان، المهمّة، على الصعيدِ التجاري، هي أليافٌ من نسيجِ اللحاء.

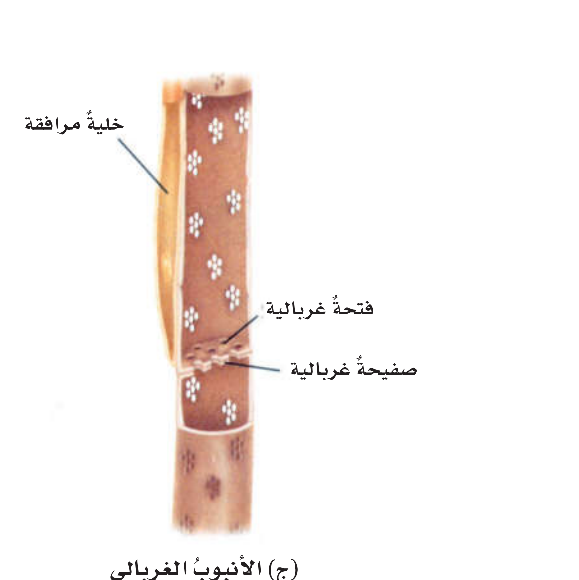
**الشكل 9-5**
(أ) القُصيبات طويلةٌ ورقيقة، وهي تحتوي على نُقَرٍ في جدرانِها الخلوية.
(ب) الوعاءُ الخشبي أقصرُ وأعرضُ من القصيبات. والقصيبةُ والوعاءُ الخشبيُّ، ينقلان معًا الماءَ والأملاح.
(ج) الأنابيبُ الغرباليةُ طويلةٌ وأنبوبيةُ الشكل، وهي تحتوي على فتحاتٍ في جدرانِها الخلويةِ المستعرِضة. ويتمُّ نقلُ السكرِ عبرَ الأنابيبِ الغرباليةِ والخلايا المرافقة.



(أ) القصيبة



(ب) الوعاءُ الخشبي



(ج) الأنبوبُ الغربالي

## الأنسجةُ المولِّدة

مصدرُ نموِّ النبات، بصورةٍ رئيسة، **الأنسجةُ المولِّدة Meristems**، فهي مناطقُ تنقسمُ فيها الخلايا باستمرار، انظرِ الجدولَ 9-4. ومعظمُ النباتاتِ تنمو طوليًّا بواسطةِ **النسيجِ المولِّدِ القِمّيِّ Apical meristem** الذي يقعُ عندَ أطرافِ السوقِ والجذور. وفي بعضِ ذواتِ الفلقةِ الواحدةِ يوجدُ **نسيجٌ مولِّدٌ بينيٌّ Intercalary meristem** فوقَ قواعدِ الأوراقِ والسوق.

وفي مُعرّاةِ البذورِ ومعظمِ النباتاتِ ذاتِ الفلقتَين **نسيجٌ مولِّدٌ جانبيّ Lateral meristem** يسمحُ بنموِّ أقطارِ السوقِ والجذور. ويوجدُ نوعانِ من الأنسجةِ المولِّدةِ الجانبية، هما الكمبيومُ الوعائيُّ والكمبيومُ الفِلّيني.

يقعُ **الكمبيومُ الوعائيُّ Vascular cambium** بينَ النسيجِ الخشبيِّ واللحاء، ويُنتِجُ أنسجةً وعائيةً إضافية. ويقعُ **الكمبيومُ الفلّينيُّ Cork cambium** خارجَ اللحاء، ويُنتِجُ **الفلّينَ Cork**، وهو مكوَّنٌ من خلايا ميتةٍ توفِّرُ الحمايةَ للنبات، وتحولُ دونَ فقدِه للماء.

يُسمّى النموُّ الطوليُّ **النموَّ الأوّلي Primary growth**، ويتمُّ بواسطةِ القممِ الناميةِ والأنسجةِ المولِّدةِ البينية. أمّا نموُّ القطرِ فيُسمّى **النموَّ الثانوي Secondary growth**، ويتمُّ بواسطةِ الأنسجةِ المولِّدةِ الجانبية، أي بواسطةِ الكمبيومِ الوعائيِّ والكمبيومِ الفلّيني.

**الجدولُ 9-4 أنواعُ الأنسجةِ المولِّدة**

| النوع | الموقع | الوظيفة النمو |
|---|---|---|
| النسيجُ المولِّد القمّي | أطرافُ السوقِ والجذور | زيادةُ الطولِ عندَ الأطراف |
| النسيجُ المولِّد البيني | بين أطرافِ وقواعدِ السوقِ والأوراق | زيادةُ الطولِ بينَ العُقَد |
| النسيجُ المولِّد الجانبي | جوانبُ السوقِ والجذور | زيادةُ القطر |

### مراجعةُ القسمِ 9-2

1. ما أوجهُ الاختلافِ بينَ القُصيبةِ وخليَّةِ الوعاءِ الخشبي؟ كيف ينتقلُ الماءُ عبرَ كلِّ تركيب؟
2. ما أصنافُ النسيجِ المولِّدِ الموجودِ في ذاتِ الفلقةِ الواحدةِ وذاتِ الفلقتَين؟ ما أصنافُهُ غيرُ الموجودةِ فيهما؟
3. هل تتوقَّعُ العثورَ على أنسجةٍ إسكلرنكيميةٍ بالقربِ من الأنسجةِ المولِّدة؟ لماذا؟
4. هل تتوقَّعُ العثورَ على خلايا إسكلرنكيميةٍ وخلايا كولنكيميةٍ في الجذور؟ لماذا؟
5. ميِّزْ بينَ النموِّ الأوليِّ والنموِّ الثانويِّ للشجرة.
6. **تفكيرٌ ناقد** صفِ العواملَ التي تؤثِّرُ في نقلِ الماءِ عبرَ النسيجِ الخشبي.

القسم

# 3-9

## مؤشّراتُ الأداء

▲ يذكرُ ثلاثَ وظائفَ رئيسةٍ للجذور.

● يوضحُ الفرقَ بين الجذرِ الوتديِّ والجذرِ الليفي.

■ يميّزُ بين النموِّ الأوليِّ والنموِّ الثانويّ.

◆ يصفُ الأنسجةَ في الجذورِ الأولية.

# الجذور

تتكوّنُ النباتاتُ من ثلاثةِ أنواعٍ من الأعضاء، هي الجذورُ والسُّوقُ والأوراق. الجذورُ هي التراكيبُ التي تنمو عادةً تحتَ سطحِ الأرض، وهي التي تثبِّتُ النباتَ في التربة، وتمتصُّ الماءَ والأملاحَ وتنقلُهما، كما تخزنُ الماءَ والمركّباتِ العضوية.

## أنواعُ الجذور

عندَما تنبُتُ البذرةُ تنتِجُ جذرًا أوليًّا. فمتى أصبحَ الجذرَ الأكبرَ، يُسمّى **الجذرَ الوتدي Taproot**، كما يظهرُ في الشكل 9-6 أ.

وعندَ بعضِ النباتاتِ لايصبحُ الجذرُ الأوليُّ كبيرًا، لكن تنمو جذورٌ عديدةٌ صغيرة، وتتفرّعُ، بحيثُ تنتجُ ما يُسمّى **الجذر الليفي Fibrous root** كما في الشكل 9-6 ب. وتكونُ الجذورُ ليفيةً في كثيرٍ من النباتاتِ ذواتِ الفلقةِ الواحدة، أمثالِ النباتاتِ العشبية. وتسمّى الجذورُ المتخصِّصة، التي تنمو انطلاقًا من السوقِ ومن الأوراقِ، **جذورًا عرضية Adventitious**، الشكل 9-7.



(أ)



(ب)

**الشكل 9-6**

يمكنُ للنباتات أن تمتلكَ جذرًا وتديًّا أساسيًّا أو جذورًا ليفية. (أ) كثيرٌ من ذوات الفلقتَين، كالفجل، لها جذورٌ وتديةٌ مركزية، إضافةً إلى جذورٍ جانبيةٍ صغيرة. (ب) معظمُ ذواتِ الفلقةِ الواحدة، كالأعشاب، هي ذاتُ جذورٍ ليفيةٍ متشعّبةٍ جدًّا.

**الشكل 9-7**

بعضُ النباتاتِ لها جذورٌ عرضية، تنشأُ وتنمو من أجزاءٍ نباتيةٍ تقعُ فوقَ سطحِ الأرض، من هذه الأجزاءِ السوقُ والأوراق. ولنباتِ الذرة جذورٌ داعمة، تنطلقُ من القاعدة، لتزيدَ من تثبيتِ النبات.

## تراكيبُ الجذور

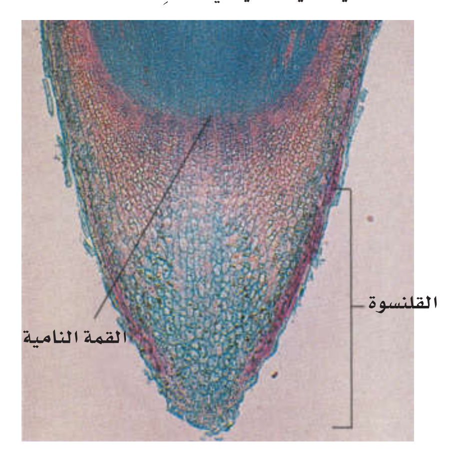
ادرسِ الشكل 9-8 تلاحظْ أنَّ قمةَ الجذرِ مغطّاةٌ بما يُسمّى **قلنسوةِ الجذر Root cap** التي تغطّي القمّةَ النامية، وتسمحُ للجذرِ باختراقِ التربةِ بسهولةٍ أكبر. أما القمّةُ الناميةُ فتُشكّلُ منطقةَ النموِّ من الجذر، حيث تنقسمُ الخلايا بلا توقُّف.

وهناك **الشعيراتُ الجذرية Root hairs**، كما في الشكل 9-9، التي تشكّلُ امتداداتٍ لخلايا البشرةِ الخارجية، وتزيدُ من المساحةِ السطحيةِ للجذر، ومن قدرةِ النباتِ على امتصاصِ الماءِ والأملاح.

## النموُّ الأوليُّ للجذور

تنمو الجذورُ طوليًّا عن طريقِ الانقسامِ الخلويِّ والاستطالةِ في أطرافِ الجذور. والجزءُ الذي يشكّلُ البشرةَ الخارجيةَ للجذرِ يتكوَّنُ من نسيجِ البشرة. أمّا النسيجُ الأساسيُّ، فيشكّلُ القشرةَ والبشرةَ الداخلية. تقعُ **القشرةُ Cortex** مباشرةً تحتَ

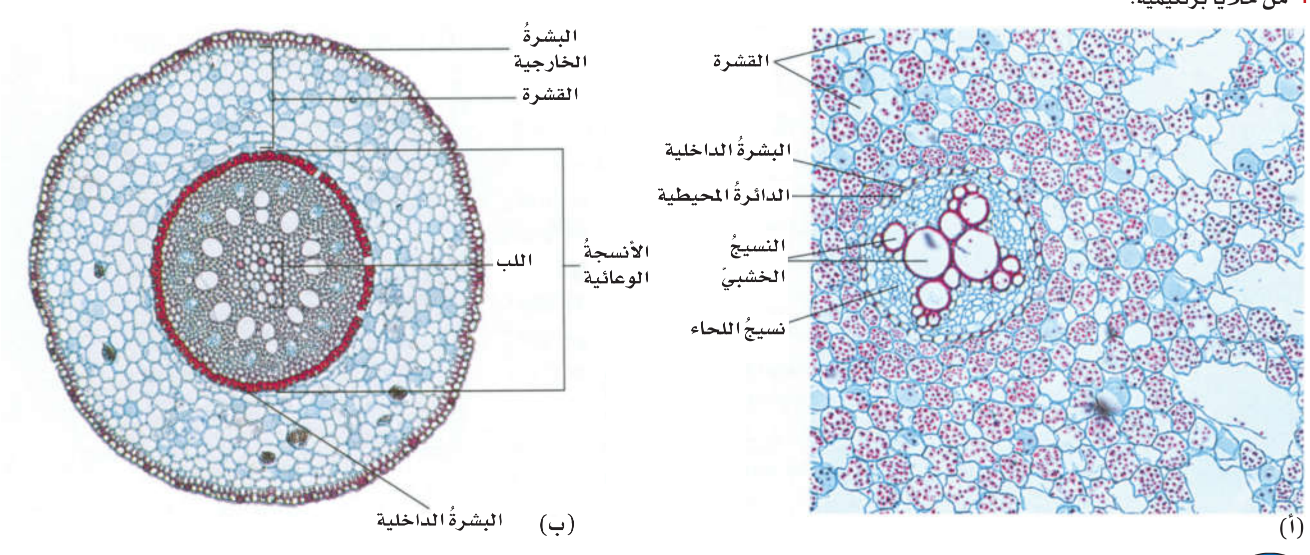
**الشكل 9-8**
قلنسوةُ الجذرِ تحمي القمّةَ الناميةَ عندَ طرفِ الجذر. ينشأُ النموُّ الأوليُّ للجذرِ عن الانقسامِ الخلويِّ الذي يجري في القمّةِ النامية.






**الشكل 9-9**
طرفُ الجذرِ من هذه البادرةِ يملكُ كثيرًا من الشعيراتِ الجذرية التي تساعدُ النباتَ على امتصاصِ الماءِ والأملاحِ من التربة. وهذه الشعيراتُ الجذرية تنمو انطلاقًا من خلايا البشرةِ الخارجية.

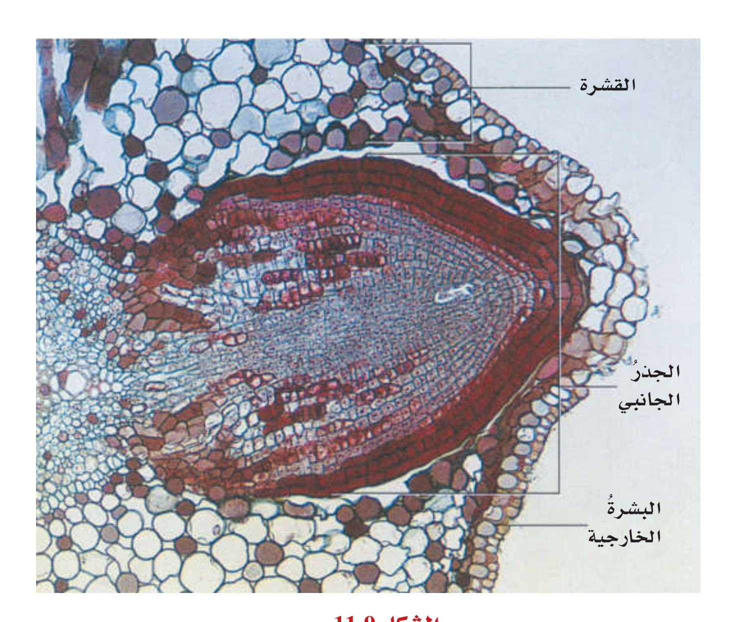
**الشكل 9-10**
(أ) المقطعُ العرضيُّ لجذرِ نباتٍ ذي فلقتين، ويظهرُ فيه ترتيبُ النسيجِ الوعائيِّ والنسيجِ الأساسي. لاحظِ الشكل × الذي يبدو عليه النسيجُ الخشبي مركزيًّا. إنَّ القشرةَ والبشرةَ الداخليةَ، اللتين تتكوَّنانِ من النسيجِ الأساسيِّ، تحيطانِ بالنسيجِ الوعائي. (ب) هذا مقطعٌ عرضيٌّ لجذرِ نباتٍ ذي فلقةٍ واحدة، تظهرُ فيه البشرةُ الداخليةُ التي تقعُ تحتَ القشرة. أما الجزءُ المركزيُّ من الجذر، ويسمّى اللب، فيتكوَّنُ من خلايا برنكيمية.



البشرةِ الخارجية، ويمكنُكَ رؤيةُ ذلك في الشكل 9-10، وهي مكوّنةٌ من خلايا برنكيمية.

أمّا **البشرةُ الداخليةُ Endodermis**، كما في الشكل 9-10، فَجُدرانُها الخلويةُ تحتوي على شريطٍ سميكٍ يتكوّنُ من مادةٍ غيرِ نفّاذةٍ للماء. تنظّمُ هذه الخلايا مرورَ الماءِ إلى الجذر.

والنسيجُ الوعائيُّ يشكّلُ الأُسطوانةَ الوعائيةَ، في اتّجاهِ الداخل للجذر. ويشكّلُ الخشبُ، في مُعرّاةِ البذورِ وذواتِ الفلقتَين، مركزَ الجذر. ويكونُ الخشبُ على هيئةِ مثلّثاتٍ يقعُ بينَها اللحاء، كما في الشكل 9-10 أ. أما في ذواتِ الفلقةِ الواحدة، فيشكّلُ اللبُّ Pith، عادةً، مركزَ الجذر، وهو مكوّنٌ من خلايا برنكيمية، كما في الشكل 9-10 ب.




**الشكل 9-11**
إنَّ النسيجَ الوعائيَّ للجذرِ الأوَّلي محاطٌ بالدائرةِ المحيطية، وهو نسيجٌ يكوِّنُ جذورًا جانبية.

ويقعُ النسيجُ الخشبيُّ للجذر، في ذواتِ الفلقةِ الواحدة بصورةٍ غيرِ منتظمة، في المنطقةِ التي تحيطُ باللب. وتوجدُ مساحاتٌ صغيرةٌ من نسيجِ اللحاءِ بين رُقَعِ النسيجِ الخشبي. وتُعرفُ الطبقةُ أو الطبقاتُ الخارجيةُ للأنسجةِ الوعائية، باسمِ **الدائرةِ المحيطية Pericycle** التي تكوِّنُ الجذورَ الجانبية. انظرِ الشكل 9-11.

## الجدولُ 9-5 الأملاحُ الأساسيةُ في النبات

**أملاحٌ مطلوبةٌ بكمّياتٍ كبيرة**

| العنصرُ الكيميائي | الامتصاصُ على صورة | استخدامُهُ في النبات |
| --- | --- | --- |
| النيتروجين | $NO_3^-$, $NH_4^+$ | جزءٌ من البروتينات، الأحماضَ النووية، الكلوروفيل، ATP |
| الفوسفور | $H_2PO_4^-$ | جزءٌ من الأحماضِ النووية، ATP، الدهونُ المُفسفرة، مرافقاتُ الأنزيم |
| البوتاسيوم | $K^+$ | فتحُ الثغورِ وغلقُها، وكعاملٍ أنزيميٍّ مساعد |
| الكالسيوم | $Ca^{2+}$ | جزءٌ من الجدرانِ الخلوية ومن الأغشيةِ الخلوية |
| المغنيسيوم | $Mg^{2+}$ | جزءٌ من الكلوروفيل |
| الكبريت | $SO_4^{2-}$ | جزءٌ من البروتينات |

**أملاحٌ مطلوبةٌ بكمّياتٍ قليلة**

| العنصرُ الكيميائي | الامتصاصُ على صورة | استخدامُهُ في النبات |
| --- | --- | --- |
| الحديد | $Fe^{2+}$ | جزءٌ من السيتوكرومات، له دورٌ في نقلِ الإلكترونات |
| المنجنيز | $Mn^{2+}$ | يتطلّبُه العديدُ من الأنزيمات |
| البورون | $B(OH)_3$ | له دورٌ في نقلِ الكربوهيدرات، على ما يُعتقد |
| الكلور | $Cl^-$ | عمليةُ تفكيكِ الماءِ في عمليةِ البناءِ الضوئي |
| الزنك | $Zn^{2+}$ | جزءٌ أساسيٌّ في العديدِ من الأنزيمات |
| المولبيدنيوم | $MoO_4^{2-}$ | الأيضُ النيتروجيني |

## النموُّ الثانويُّ للجذور

غالبًا ما يحدثُ في جذور النباتاتِ ذواتِ الفلقتين ومعرّاةِ البذورِ نموٌّ ثانوي. يبدأُ النموُّ الثانويُّ عندَما يتكوّنُ الكمبيومُ الوعائيُّ بينَ النسيجِ الخشبيِّ الأوليِّ ونسيجِ اللحاءِ الأوّلي. ويُنتجُ الكمبيومُ الوعائيُّ نسيجًا خشبيًّا ثانويًّا في اتِّجاهِ داخلِ الجذر، ونسيجًا لحائيًّا ثانويًّا في اتِّجاهِ الخارج. ويتكوّنُ كمبيومٌ فلّينيٌّ في الدائرةِ المحيطية، وذلكَ لإحلالِ الفلّين محلَّ الخلايا الممزَّقة.

## وظائفُ الجذور

تؤدي الجذورُ، إلى جانبِ تثبيتِها النباتَ في التربة، وظيفتَينِ أوليينِ أُخريين. فهي تمتصُّ الماءَ وأنواعًا مختلفةً من الأملاحِ المذابةِ في التربة.

وقد قُسّمتِ الأملاحُ والمعادنُ التي يحتاجُ إليها النباتُ إلى مجموعتَين، هما **الأملاحُ المطلوبةُ بكمّيات كبيرة Macronutrients والأملاحُ المطلوبةُ بكمّيات قليلة Micronutrients**. يبيِّنُ الجدول 9-5 الأملاحَ التي يمتصُّها النباتُ على شكلِ أيونات.

غالبًا ما تتكيَّفُ الجذورُ من خلالِ تأديتِها لوظيفتِها في تخزينِ الكربوهيدراتِ أو الماء، حيثُ ينقلُ نسيجُ اللحاءِ الكربوهيدراتِ الذي يتمُّ صنعُهُ في الأوراقِ إلى الجذور. والكربوهيدراتُ الذي لا تستخدمُهُ الجذورُ بصورةٍ فوريةٍ لإنتاجِ الطاقةِ أو النمو يتمُّ تخزينُهُ عادة. يتحوَّلُ هذا الفائضُ من الكربوهيدرات إلى نشاء، ويُخزَنُ في الخلايا البرنكيمية. وقد تكونُ بعضُ الجذورِ التي تخزنُ الموادَّ مألوفةً لديك، كجذورِ الجزرِ والبطاطا الحلوةِ واللفت. وهناكَ جذور في بعض أنواع من عائلة اليقطين تخزنُ مقاديرَ كبيرةً من الماء، لأن ذلكَ يساعدُ على بقاءِ النباتاتِ حيةً خلالَ فتراتِ الجفاف.




### نشاطٌ عمليٌّ سريع

**ملاحظةُ جذور**

**الموادّ** بادراتُ فجلٍ ذابلة، عدسةٌ يدوية، طبقُ بتري، ماء، ماصّة.

**الإجراء**

1. ضعِ البادراتِ الذابلةَ في طبقِ بتري. لاحظْها بواسطةِ العدسةِ اليدوية. دوِّنْ ملاحظاتِك.
2. غطِّ الجذورَ وحدَها بالماء بواسطةِ ماصّة. لاحظِ البادراتِ بواسطةِ العدسةِ اليدوية، كلَّ 5 دقائق إلى 15 دقيقة. دوِّنْ ملاحظاتِكَ كلَّها.
3. استخدمِ العدسةَ اليدويةَ لملاحظةِ الجذور. ضعْ رسمًا وتسمياتٍ لما تراه.

**التحليل** ماالذي حدثَ للبادراتِ الذابلةِ عندَما وضعتَها في الماء؟ كيف يمكنُك تفسيرُ ما حدث؟ صفْ وظيفتَينِ للجذر.

### مراجعةُ القسم 3-9

1. ما الوظائفُ الرئيسةُ للجذور؟
2. ما أوجهُ الاختلافِ بينَ الجذرِ الوتديِّ والجذرِ الليفي؟
3. ما الاختلافُ بينَ النموِّ الأوليِّ والنموِّ الثانوي؟ ما أنواعُ الأنسجةِ المعنيَّةِ بكلِّ نوعٍ من النمو؟
4. وضِّحْ كيف تزدادُ قدرةُ النباتِ على امتصاصِ الماءِ من التربةِ عن طريقِ الشُّعيراتِ الجذرية.
5. سمِّ منطقتَينِ من الجذرِ يمكنُك العثورُ فيهما على خلايا برنكيمية.
6. **تفكيرٌ ناقد** لماذا يكونُ الجذرُ الوتديُّ أكثرَ فائدةً عندَ بعضِ النباتات، بينما يكونُ الجذرُ الليفي أكثرَ فائدةً عندَ نباتاتٍ أُخرى؟

القسم

4-9

مؤشِّراتُ الأداء

▲ يصفُ أوجهَ الاختلافِ بين سُوقِ النباتاتِ ذواتِ الفلقةِ الواحدة وسوق النباتاتِ ذواتِ الفلقتَين.

● يقارنُ بينَ تركيبِ الجذورِ وتركيبِ السوق.

■ يوضحُ نموذجَ ضغطِ التدفُّقِ لانتقالِ مركّبٍ عضويٍّ في نسيجِ اللحاء.



يوضحُ نظريةَ التماسكِ والشد، لانتقالِ الماءِ في النسيجِ الخشبي.

# السوق

تتكيَّفُ السوقُ عادةً مع حملِ الأوراق. وذلكَ بخلافِ تكيُّفِ الجذورِ بشكلٍ رئيسٍ مع وظيفةِ الامتصاصِ وتثبيتِ النبات. والسوقُ، مهما يكنْ حجمُها وشكلُها، تؤدي كذلك دورًا في نقلِ الموادِّ وتخزينها.

## أنواعُ السوق

إن التنوّعَ والاختلافَ في أشكالِ السوقِ ونموِّها، يمثِّلُ تكيُّفًا للنباتاتِ مع المحيطِ البيئي. يبيِّنُ الشكل 9-12 عدّةَ أنواعٍ من السوق.

## تراكيبُ السوق

هل تعلمُ أنَّ مسمارًا مثبَّتًا في ساقِ شجرةٍ على ارتفاعِ متريَن، سيظلُّ على الارتفاعِ نفسِه وإن نمتِ الشجرةُ واستمَرَّتْ ساقُها في الارتفاع. يعودُ ذلك إلى أنَّ معظمَ السُّوق، تنمو



(أ)



(ج)



(ب)

**الشكل 9-12**
توفِّرُ السوقُ دعمًا للأوراق. بعضُ النباتاتِ تُنتجُ سوقًا تتَّصفُ بتكيُّفاتٍ لأداءِ وظائفَ أخرى.
(أ) لنبتةِ الفراولة سوقٌ جارية، وهي سوقٌ تمتدُّ على سطحِ الأرض تنتجُ نباتاتٍ جديدة. (ب) لنباتِ البطاطس درنات، وهي سوقٌ أرضية، عريضةٌ وقصيرة، تُستخدمُ في تخزينِ النشاء.
(ج) نباتُ الصبّار يوصف بأنه عصاريٌّ بسببِ ساقِه العصيرية التي تخزنُ الماء.

طوليًّا وكالجذور، انطلاقًا من القممِ فقط، حيثُ تُنتجُ الأنسجةُ المولِّدةُ القِمِّيةُ أنسجةً أوّليةً جديدة. السوقُ، كالجذورِ، تنمو فتزدادُ أقطارُها اتِّساعًا، وذلك بفعلِ أنسجةٍ مولِّدةٍ جانبية.

يبيِّنُ الشكل 9-13 أسطُحَ التركيبِ الخارجيِّ للساق. فالساقُ تقسمُ إلى قطعٍ تُسمّى **السلاميات Internodes**، عند كلِّ طرفٍ من السلامية، توجدُ **عقدة Node**. وكلُّ عقدةٍ تحملُ برعمًا جانبيًّا. **والبرعمُ Bud** يستطيعُ النموَّ ليكوِّنَ ساقًا تحملُ براعم.

## النموُّ الأوليُّ للسوق

تُنتِجُ القممُ الناميةُ في السوق، كما في الجذور، نسيجَ البشرةِ والنسيجَين الأساسيَّ والوعائي. حدِّدْ موقعَ كلٍّ من هذه الأنسجةِ في الشكل 9-14. فكما ترى يتمثَّلُ نسيجُ البشرةِ في البشرةِ الخارجية، ووظيفتُها الرئيسةُ حمايةُ النباتِ، وتقليلُ فقْدِ الماء في الوسطِ الخارجيِّ، والاستمرارُ في تبادلِ الغازاتِ عبرَ الثغور.



## نشاطٌ عمليٌ سريع

### ملاحظةُ السوق

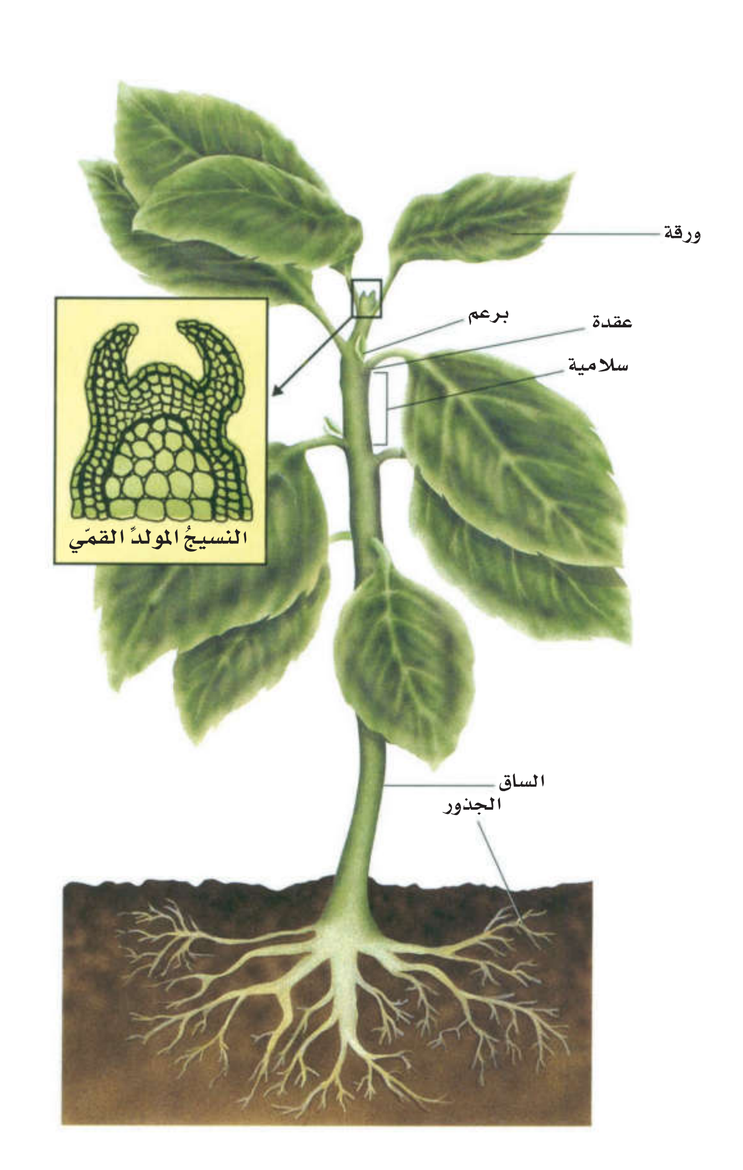
**المواد** غصنٌ شتوي، ساقٌ حديثةٌ مع أوراق، عدسةٌ يدويةٌ أو مجهرُ تشريح.

**الإجراء**

1. لاحظِ الغصنَ بواسطةِ العدسةِ اليدوية. حدِّدْ مكانَ براعمَ عديدةٍ وتعرَّفْ إليها. تعرَّفْ إلى عقدةٍ وإلى سلامية. ضعْ رسمًا لغصنٍ مع التسمياتِ الملائمة.
2. لاحظْ ساقًا حديثةً بواسطةِ العدسةِ اليدوية. حدِّدْ مواقعَ الساقِ والعقدِ والسلاميات، وورقة وتعرَّفْ إليها. ضع رسمًا للساقِ مع تسمياتِ الأجزاء.

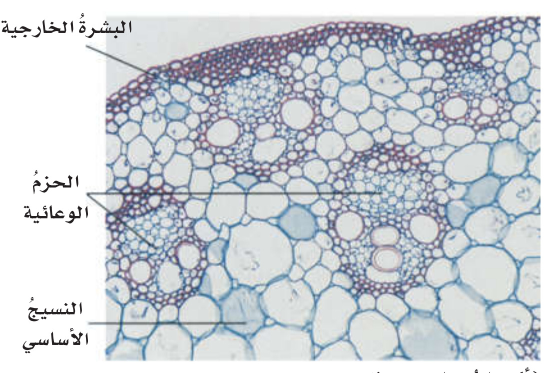
**التحليل**

ما الصلةُ التي تربطُ بينَ عقدةٍ، وسلامية؟
ما الصلةُ التي تربطُ بين برعمٍ وعقدة؟
ما أوجهُ الشبهِ بين الساقَين؟
ما أوجه الاختلافِ بين الساقَين؟

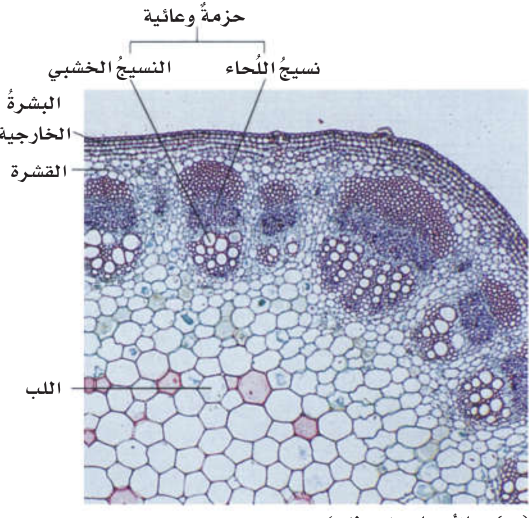



**الشكل 9-13**
توجدُ الأنسجةُ المولِّدةُ القِمِّيةُ، المسؤولةُ عن الاستطالةِ الأوَّليةِ لجسمِ النبات، عندَ أطرافِ السوقِ وأطرافِ الجذور. وكلُّ ورقةٍ تقعُ عندَ عقدة. والمسافةُ ما بينَ عقدتَينِ متتاليتَين تسمَّى سلامية.

وفي سوق النباتاتِ ذواتِ الفلقةِ الواحدةِ وذواتِ الفلقتَين، يشكِّلُ النسيجُ الأساسيُّ، عادةً، القشرةَ واللب. تقعُ القشرةُ تحتَ البشرةِ الخارجيةِ مباشرة، كما في الجذرِ تمامًا. وغالبًا ما تحتوي القشرةُ على خلايا كولنكيمية. ويقعُ **اللبُّ Pith** في وسطِ الساق. وفي العادة،لا تتميّزبوضوحٍ القشرةُ من النخاعِ في النسيجِ الأساسيِّ لسوقِ النباتاتِ ذواتِ الفلقةِ الواحدة. ويكونُ النسيجُ الوعائيُّ، الذي يتكوَّنُ بجوارِ النسيجِ المولِّدِ القمّي، على هيئةِ حُزَم، كما في الشكل 9-14. فتحتوي كلُّ حزمةٍ على نسيجٍ خشبيٍّ وعلى نسيجٍ لحائي. يقعُ النسيجُ الخشبيُّ، عادةً، إلى جهةِ داخلِ الساق، فيما يقعُ النسيجُ اللحائيُّ، عادةً، إلى جهةِ الخارج.



(أ) ساقُ نباتٍ ذي فلقةٍ واحدة



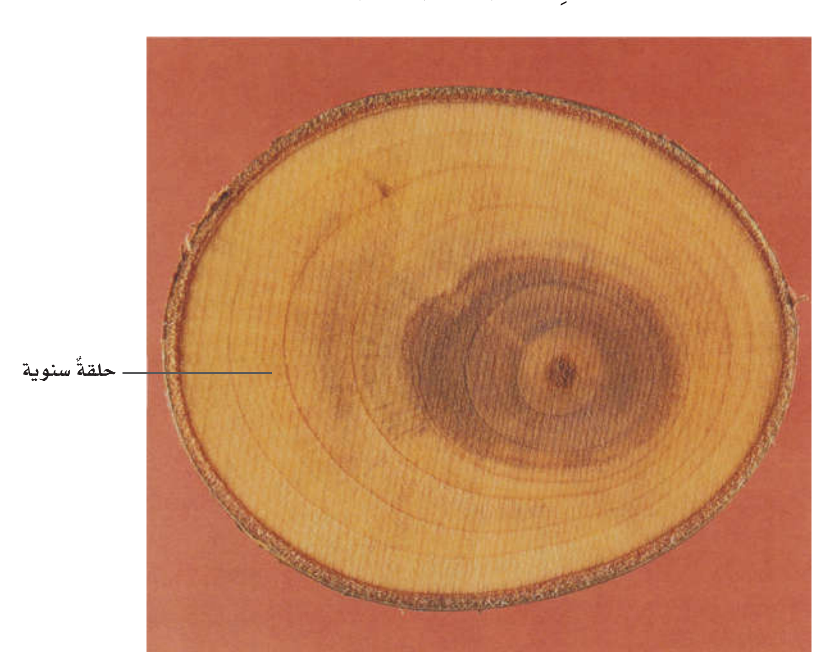
(ب) ساقُ نباتٍ ذي فلقتَين

**الشكل 9-14**
مقارنةٌ بينَ نوعَين أساسيَّين من السوق. (أ) المقطعُ العرضيُّ لساقٍ عشبيةٍ من نباتِ الذرة، وهو نباتٌ ذو فلقةٍ واحدة يُظهرُ حزمًا وعائيةً موزَّعةً، بصورةٍ مبعثرةٍ في النسيجِ الأساسي (ب) لدى دوّارِ الشمس، وهو نباتٌ ذو فلقتَين، تظهرُ الأنسجةُ الوعائيةُ على صورةِ حلقةٍ وحيدةٍ من الحزمِ تقعَ ما بينَ القشرةِ والنخاع.

## النموُّ الثانويُّ للسوق

تزدادُ سماكاتُ السوقِ نتيجةً لانقسامِ الخلايا في الكمبيومِ الوعائي. والكمبيومُ الوعائيُّ، في ذواتِ الفلقتَين ومعرّاةِ البذور، يقعُ بينَ النسيجِ الخشبيِّ والنسيجِ اللحائي. ينتجُ الكمبيومُ الوعائيُّ نسيجًا خشبيًّا ثانويًّا للداخل، ونسيجًا لحائيًّا ثانويًّا للخارج. ويُسمّى النسيجُ الخشبيُّ الثانوي **خشبًا Wood**.

إنَّ النسيجَ اللحائيَّ الذي يتمُّ إنتاجُهُ بجوارِ الجهةِ الخارجيةِ للساقِ يشكِّلُ جزءًا من **القِلْف Bark**. والقِلْفُ هوَ الغطاءُ الخارجيُّ الواقي للنباتاتِ الخشبية، وهو يتكوَّنُ من الفلّين والكمبيومِ الفِلّيني والنسيجِ اللحائي. وإذا قطِعتِ الساقُ عرضيًّا يظهرُ في المقطعِ العرضيِّ الخشبُ الثانويُّ الذي تُنتِجه الساقُ في كلِّ سنةٍ، على هيئةِ دوائرَ تُسمّى الواحدةُ منها **الحلقةَ السنوية Annual ring**، كما في الشكل 9-15. ولأنهُ لا يتكوَّنُ في السنةِ سوى حلقةٍ واحدة، يمكنُكَ تقديرُ عمرِ الساقِ بتعدادِ حلقاتِه السنوية.

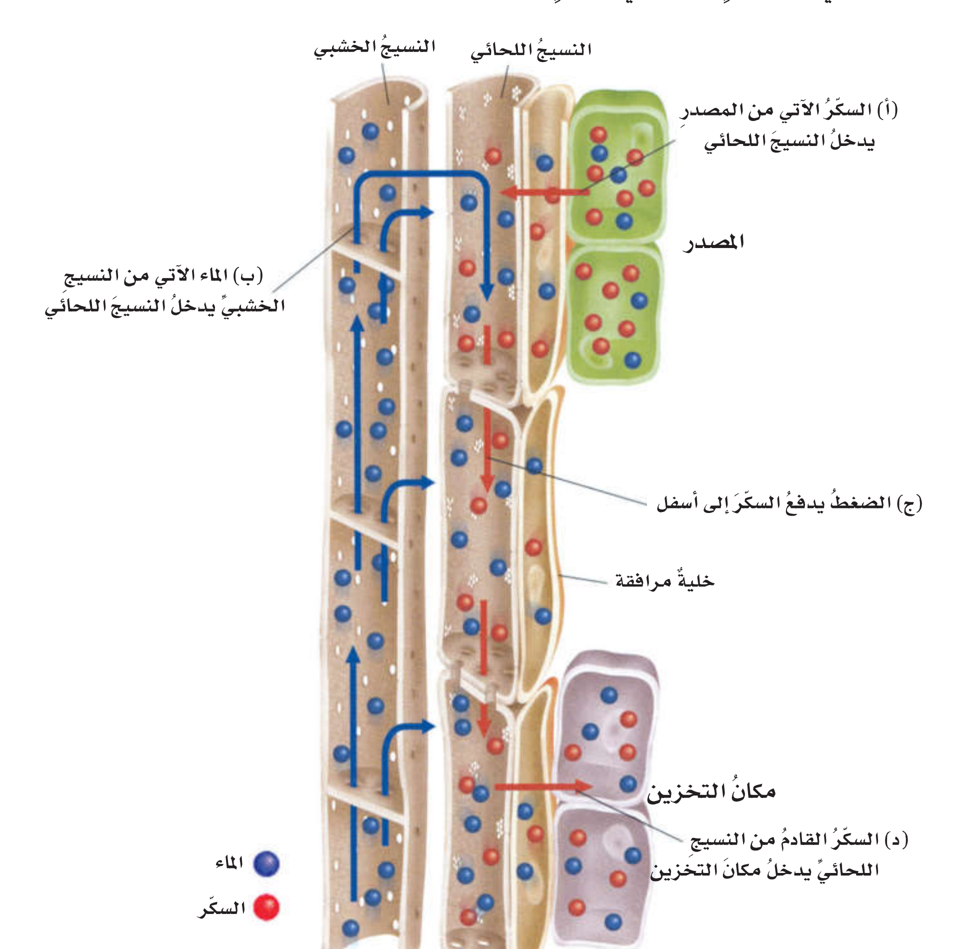



**الشكل 9-15**
هذا المقطعُ العرضيُّ لساقٍ بالغة يبيِّنُ النموَّ الثانويَّ للخشب في صورةِ حلقاتٍ سنوية.

# وظائفُ الساق

تقومُ السوقُ بأعمالِ نقلٍ وتخزينٍ للموادِّ الغذائيةِ والماء، وتحملُ الأوراق. ويتمُّ نقلُ السكريات وبعضِ الهرموناتِ النباتيةِ ومركَّباتٍ عضويةٍ أخرى عبرَ النسيجِ اللحائي. فالسكرياتُ تنتقلُ من المكانِ الذي يتمُّ فيه صنعهُ أو تخزينهُ ويسمى **المصدر Source**، إلى حيثُ يجري تخزينُهُ أو استخدامُه، أي إلى **أعضاءِ التخزين Sink**. ويستخدمُ علماءُ النباتِ تعبيرَ **نقل الغذاءِ الجاهز Translocation** ليشيروا إلى حركةِ نقلِ السكريات من الأوراقِ إلى الجذورِ والثمارِ والأزهار.

وتوضحُ **فرضيةُ ضغطِ التدفُّق Pressure flow hypothesis**، أن السكريات تخضعُ لعمليةِ نقلٍ نشطٍ في أنابيبَ غرباليةٍ توجدُ في اللحاء، كما في الشكل 9-16. وفي أثناءِ دخولِ السكرياتِ إلى الأنابيبِ الغرباليةِ، يجري نقلُ الماءِ إليها عن طريق الأسموزية. فيؤدي هذا إلى رفعِ الضغطِ في المصدرِ وداخلَ الأنابيبِ الغربالية. هذه هي مسألةُ الضغطِ في الفرضية. ويجري عكسُ هذه العمليةِ، عند جهةِ أعضاءِ التخزينِ للأنبوب الغربالي. فعندما يتمُّ نقلُ السكرياتِ بشكلٍ نشطٍ، إلى الخارج، ويغادرُ الماءُ الأنبوبَ الغرباليَّ عن طريقِ الأسموزية، ينخفضُ الضغطُ عندَ أعضاءِ التخزين. إن الفرقَ في الضغطِ يجعلُ الماءَ يتدفَّقُ من المصدر، في اتِّجاهِ أعضاءِ التخزين ناقلاً الموادَّ المذابةَ معه. أما عمليةُ النقلِ في النسيجِ اللحائيِّ، فيمكنُ أن تحدثَ في اتِّجاهاتٍ عدَّة، وفي أوقاتٍ مختلفة.




**الشكل 9-16**

في نموذجِ ضغطِ التدفُّقِ يتمُّ دفعُ السكرياتِ عبرَ النسيجِ اللحائيِّ بواسطةِ الضغط. والضغطُ ينشأُ عن حركةِ انتقالِ الماءِ إلى داخلِ النسيجِ اللحائيِّ بواسطةِ الأسموزية. وتشيرُ السهامُ الزرقاءُ إلى حركةِ انتقالِ الماء، والسهامُ الحمراءُ إلى حركةِ انتقالِ السكريات.

## نقلُ الماء

يجري نقلُ الماءِ والأملاحِ عبرَ النسيجِ الخشبي. في النهارِ يتبخّرُ الماءُ باستمرارٍ من النبات، ولاسيما عبرَ ثغورِ الأوراق. فقدُ الماءِ هذا يسمّى **النتح Transpiration**. كيف تعملُ الاشجارُ الضخمةُ، لتنقلَ الماءَ والاملاحَ صعودًا حتى أعاليها التي قد تبلغُ مئةَ متر؟

وفقًا **لنظريةِ التماسكِ والشدِّ Cohesion-tension theory**، يتمُّ سحبُ الماءِ إلى أعلى، داخلَ النسيجِ الخشبيِّ للساقِ، عن طريقِ قوى التجاذبِ بين جزيئاتِ الماء، حيثُ يجذبُ بعضُها بعضًا. وهذهِ خاصّةٌ للماءِ تُسمّى التماسك Cohesion. تعتمدُ حركةُ الانتقالِ كذلك على الجدرانِ ذاتِ النسيجِ الخشبيِّ الصلب، وعلى الجذبِ القويِّ لجزيئاتِ الماءِ نحوَ جدارِ النسيجِ الخشبي، ويُسمّى هذا بالالتصاق Adhesion. وتمتدُّ أعمدةُ الماءِ الدقيقةُ المتواصلةُ من الأوراقِ، عبرَ السوق، حتى الجذور. وفي أثناءِ تبخُّرِ الماءِ من الأوراقِ، يتعرَّضُ عمودُ الماءِ إلى شدٍّ كبير، ويندفعُ إلى أعلى. وفي أثناءِ سحبِ الماءِ، صعودًا في النسيجِ الخشبيِّ، يدخلُ مزيدٌ من الماءِ إلى الجذورِ من التربةِ ليحلَّ محلَّ الماءِ المفقود.

## تخزينُ الماءِ والموادِّ الغذائية

تتكيَّفُ سوقُ النباتاتِ مع عمليةِ التخزين، عندَ وجودِ وفرةٍ من الخلايا البرنكيميةِ في القشرة. ويحصلُ هذا لمعظمِ الأنواع. وتكونُ عمليةُ التخزينِ بمثابةِ وظيفةٍ رئيسة. فمثلاً سوقُ النباتاتِ الصبّاريةِ متخصّصةٌ في تخزينِ الماء، وسوقُ قصبِ السكّرِ تخزنُ كمياتٍ كبيرةً من السكروز، البطاطس يخزنُ النشاء.

### جذرُ الكلمةِ وأصلُها

**النتح**

**Transpiration**

منَ اللاتينيةِ trans وتعني «عبر» و spirare وتعني «يتنفَّس»

### مراجعةُ القسم 9-4

1. ما وجهُ الاختلافِ بينَ سوقِ النباتاتِ ذواتِ الفلقةِ الواحدةِ والنباتاتِ ذواتِ الفلقتَين، من حيثُ ترتيبُ الأنسجةِ الوعائية؟
2. قارنْ بينَ تركيبِ الجذورِ وتركيبِ السوق.
3. كيف يمكنُ تقديرُ عمرِ شجرةٍ ذات نمو ثانوي؟
4. صِفْ كيفيةَ انتقالِ الماءِ عبرَ النسيجِ الخشبي.
5. صِفْ حركةَ انتقالِ السكرياتِ داخلَ النسيجِ اللحائي.
6. **تفكيرٌ ناقد** بعضُ السناجبِ تلحقُ الضررَ بالأشجارِ بنزعِها أجزاءً من القلف. ما الذي يدفعُ السنجابَ إلى أكلِ القلف؟

القسم

# 5-9

## مؤشّراتُ الأداء

▲ يحدّدُ الفرقَ بينَ ورقةِ نباتٍ بسيطةٍ وورقةِ نباتٍ مركّبة.

● يصفُ الأنسجةَ التي تكوّنُ التركيبَ الداخليَّ لورقةِ نبات.

■ يصفُ تكيُّفاتِ الأوراقِ مع وظائفِها.

◆ يوضحُ أهميةَ الثغور.

# الأوراق

معظمُ الأوراقِ رقيقةٌ ومسطَّحة. ويشكّل هذا نوعًا من التكيُّفِ يساعدُها على التقاطِ ضوءِ الشمسِ لأجلِ البناءِ الضوئي. والأوراقُ، مثلُ الجذورِ والسوق، متنوعةٌ للغاية. هذا التنوُّعُ يمثّلُ تكيُّفاتٍ مع ظروفِ المحيطاتِ البيئية.

## أنواعُ الأوراق

التركيبُ اللولبيُّ، الظاهرُ في الشكل 9-17 أ، يسمّى **المحلاق Tendril**، وهو ورقة من أوراقِ النباتات المتسلّقة تلتفُّ حول الأجسامِ فتدعمُ هذهِ النباتات المتسلّقةَ وتسندُها. وتتشكّلُ أوراقُ النباتاتِ آكلةِ اللحوم تشكُّلاً غيرَ عادي. فالتكيُّفُ الذي يمثّلُه شكلُ الورقةِ الإبريقية، الظاهرةُ في الشكل 9-17 ب. يجعلُ من هذه الورقةِ مصيدةً غذائيةً تصيدُ حيواناتٍ صغيرةً وحشرات.

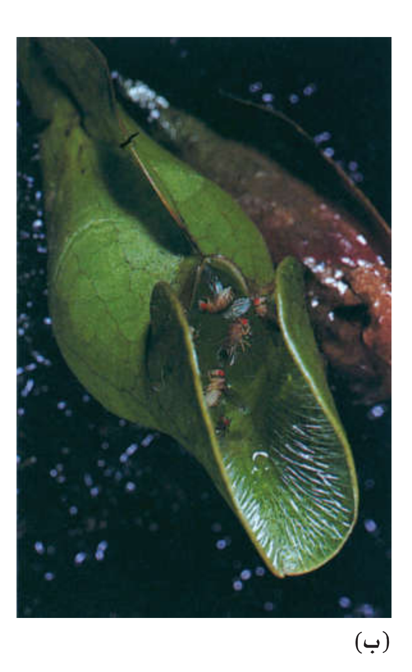
وغالبًا ما تتحوَّلُ الأوراقُ، أو أجزاءٌ من الأوراقِ، إلى أشواكٍ لتقيَ النباتَ من أن تأكلَهُ الحيوانات، كما يظهرُ في الشكل 9-17 ج.

## تراكيبُ الأوراق

للأوراقِ تنوّعٌ كبيرٌ، شكلاً وحجمًا. ويشكّلُ هذا التنوعُ ميزةً مهمةً في النباتِ وتحديدِه. يمكنُ للأوراقِ أن تكونَ مستديرة، أو على شكلِ شريطٍ أو إبرة، أو على شكلِ قلب. الجزءُ الكبيرُ المسطَّحُ من الورقةِ يسمّى **النصل Blade**، وهو المكانُ الذي يجري فيه

**الشكل 9-17**
تطوَّرَتْ في أوراقِ النباتاتِ تكيُّفاتٌ مختلفةٌ (أ) نباتُ البازلاء يمتلكُ محاليقَ متسلّقة. (ب) النباتُ آكلُ اللحومِ لهُ أوراقٌ إبريقيةٌ تصطادُ الحشرات. (ج) نباتُ البربارس لهُ أشواكٌ تقيهِ من آكلةِ الأعشاب.


(أ)


(ب)


(ج)

معظمُ البناءِ الضوئي. ويكونُ النصلُ مثبتًا بالساقِ بواسطة **العنق Petoile**. إن ورقةَ العنبِ، الظاهرةَ في الشكل 9-18 أ، هي **ورقةٌ بسيطة Simple leaf**، ولها نصلٌ وحيدٌ، بينما يقسمُ النصلُ إلى **وريقات Leaflets** في **الأوراقِ المركَّبةِ Compound leaves**، مثل أوراقِ البرسيمِ الأبيضِ، الظاهرِ في الشكل 9-18 ب.

تتكوَّنُ الأوراقُ من ثلاثةِ أنواعٍ من الأنسجة. فنسيجُ البشرةِ تُمثِّلُهُ البشرةُ الخارجية (العليا والسفلى). وتتكوَّنُ البشرةُ الخارجيةُ من صفٍّ واحدٍ من الخلايا المغطّاةِ بكيوتيكل غيرِ نفوذةٍ تقريبًا. فيدخلُ الماءُ والأكسجينُ وثاني أكسيد الكربونِ إلى الورقة، ويخرجُ منها عبرَ ثغورِ البشرةِ الخارجية.

يختلفُ عددُ الثغورِ في وحدةِ المساحةِ في الورقة باختلافِ النوعِ النباتي. فعلى سبيلِ المثال، الأوراقُ المغمورةُ بالماءِ، عندَ النباتاتِ المائية، مزوَّدةٌ بعددٍ قليلٍ جدًّا من الثغور، أو هي تفتقرُ إليها بشكلٍ كامل.

تجري عمليةُ البناءِ الضوئيِّ، في معظمِ النباتاتِ في **النسيجِ المتوسِّط Mesophyll**، وهو نسيجٌ أساسيٌّ يتكوَّنُ من خلايا برنكيميةٍ غنيةٍ بالكلوروفيل. ويكونُ ترتيبُ النسيجِ المتوسِّطِ على شكلِ طبقتَين متوسِّطتَين، كما في الشكل 9-19. تقعُ **الطبقةُ المتوسِّطةُ العمادية Palisade mesophyll** تحتَ البشرةِ العليا مباشرة. وهذا الموقعُ تجري فيه معظمُ عمليةِ البناءِ الضوئي. وخلايا هذه الطبقةِ عموديةُ الشكلِ ومتراصّةٌ بصورةٍ محكمة. أما **الطبقةُ المتوسِّطةُ الإسفنجية Spongy mesophyll** فتتكوَّنُ من خلايا غيرِ منتظمةِ الشكلِ وذاتِ فراغاتٍ بينيةٍ تسمحُ للأكسجين وثاني أكسيدِ الكربونِ والماءِ بالانتشارِ داخلَ الورقةِ وخارجَها.

ويتكوَّنُ النسيجُ الوعائيُّ للأوراقِ من حزمٍ وعائيةٍ تُسمّى **العروق Veins**. تتواصلُ العروقُ مع النسيجِ الوعائيِّ للساقِ والعنق، وهي منغرسة في النسيجِ المتوسِّط. ويسمّى ترتيبُ العروقِ في الورقةِ **التعرُّق Venation**. ويكونُ التعرُّقُ في أوراقِ معظمِ ذواتِ الفلقةِ الواحدة، كالأعشاب، **تعرُّقًا متوازيًا Parallel venation**. أما أوراقُ مُعظمِ ذواتِ الفلقتَين، كنباتِ العنب، **فذواتُ تعرُّقٍ شبكي Net venation**.



(أ) ورقةٌ بسيطة



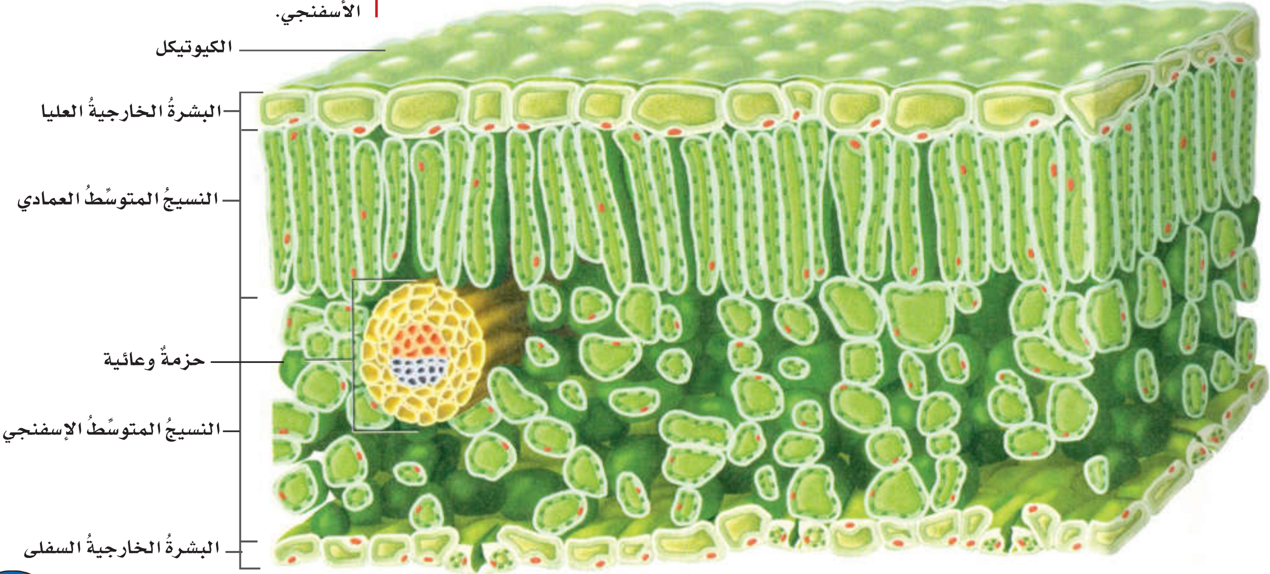
(ب) ورقةٌ مركّبة

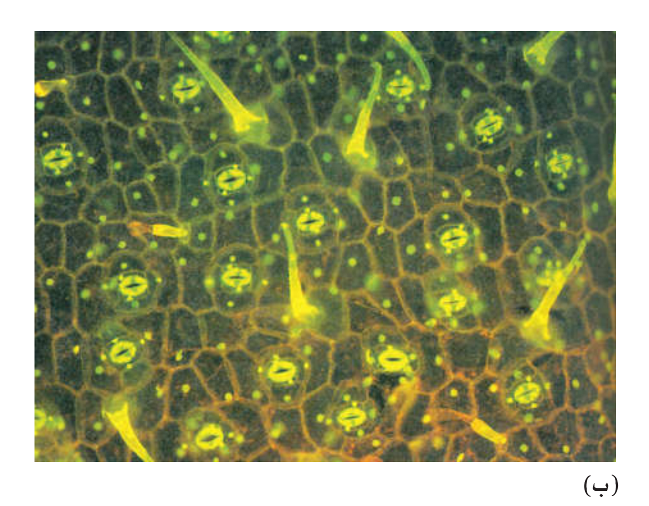
**الشكل 9-18**

(أ) تُسمّى ورقةُ العنبِ ورقةً بسيطة، لأنها ذاتُ نصلٍ واحد.
(ب) تُسمّى ورقةُ البرسيمِ الأبيضِ ورقةً مركّبةً، لأنَّ نصلَها مقسَّمٌ إلى وريقاتٍ منفصلة.

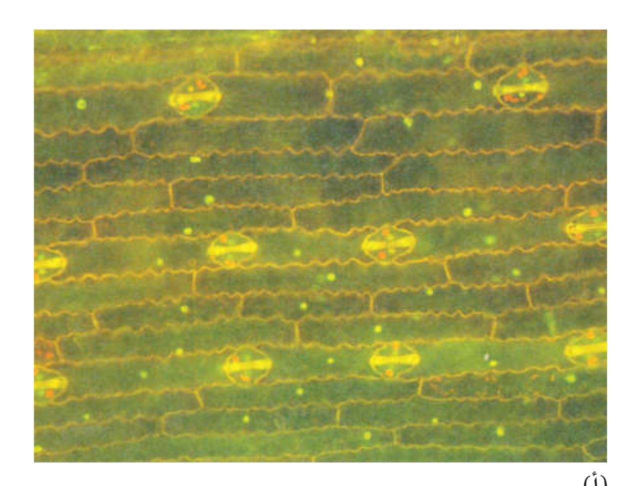
**الشكل 9-19**

الخلايا النسيجيةُ الثلاثُ موجودةٌ كلُّها في التركيبِ الداخليِّ لأيِّ ورقة. طبقةُ البشرةِ الخارجيةِ جزءٌ من نسيجِ البشرة، والحزمةُ الوعائيةُ جزءٌ من النسيجِ الوعائي. النسيجُ المتوسِّطُ هو النسيجُ الأساسيُّ، المكوَّنُ من خلايا برنكيمية، وهو يحتوي عادةً على بلاستيدات خضراء. لاحظْ أن طبقةَ النسيجِ المتوسِّطِ العماديِّ أكثرُ كثافةً من طبقةِ النسيجِ المتوسِّطِ الأسفنجي.





(ب)



(أ)

**الشكل 9-20**
تبيّنُ الصورُ المجهريةُ الإلكترونيةُ الماسحةُ لأوراقِ نباتاتٍ من ذواتِ الفلقةِ الواحدةِ وذواتِ الفلقتَين، اختلافًا في ترتيبِ الثغورِ بين كلٍّ من النباتاتِ التالية:
(أ) في ورقةِ نباتِ الذرةِ تكونُ الثغورُ موزّعةً بالتوازي، وهذا هو التوزعِ النموذجيُّ للنباتاتِ ذواتِ الفلقةِ الواحدة.
(ب) في ورقةِ نباتِ البطاطس تكونُ الثغورُ موزّعةً عشوائيًّا. وهذا هو التوزيعِ النموذجيُّ للنباتاتِ ذواتِ الفلقتَين. في النباتاتِ ذواتِ الفلقةِ الواحدةِ والفلقتَين، يتمُّ تنظيمُ حركةِ انتقالِ الماءِ وضبطُها، في الخلايا الحارسةِ لكلِّ ثغرٍ، عن طريقِ أيوناتِ البوتاسيوم ($K^+$).

## وظائفُ الأوراقِ

تشكّلُ الأوراقُ، في معظمِ النباتاتِ، الموقعَ الرئيسَ لعمليةِ البناءِ الضوئي، حيثُ تستخدمُ خلايا النسيجِ المتوسّطِ، الطاقةَ الضوئية، وثانيَ أكسيدِ الكربون والماء، في صنعِ السكريات، وفي بناءِ الأحماضِ الأمينيةِ والدهون، ومجموعةٍ متنوعةٍ من الجزيئاتِ العضويةِ الأخرى.

### تبادلُ الغازات

تحتوي بشرةُ الورقةِ على الثغورِ التي تنفتحُ وتنغلقُ لتنظِّمَ مرورَ الغازاتِ والماءِ من الورقةِ وإليها. وتحيطُ بفتحةِ كلِّ ثغرٍ **خليتانِ حارستان Guard cells** تتحكمانِ في آليةِ فتحِ الثغورِ وإغلاقِها. ويبيّنُ الشكل 9-20 الترتيبَ المختلفَ للثغورِ في النباتاتِ ذواتِ الفلقةِ الواحدةِ وذواتِ الفلقتين.

تنفتحُ الثغورُ، في معظمِ النباتات، أثناءَ النهارِ، وتنغلقُ أثناءَ الليل. وتتحكَّمُ في آليةِ فتحِ الثغورِ وإغلاقِها، كميةُ الماءِ الموجودةُ في خلاياها الحارسة . فأثناءَ النهارِ تضخُّ خلايا البشرةِ الخارجيةِ للورقةِ أيوناتِ البوتاسيوم ( $K^+$ ) إلى داخلِ الخلايا الحارسة، فَينتقلُ الماءُ إلى داخلِ الخلايا الحارسةِ عن طريقِ الأسموزية. دخولُ الماءِ هذا يجعلُ الخلايا الحارسةَ تنتفخُ وتتقوّس، فتبتعدُ الواحدةُ عن الأخرى، وينفتحُ الثغر. وأما في الظلام، فيتمُّ ضخُّ أيوناتِ البوتاسيوم إلى خارجِ الخلايا الحارسة. فيغادرُ الماءُ الخلايا الحارسةَ بواسطةِ الأسموزية. ويؤدي ذلك إلى جعلِ الخلايا الحارسةِ تنكمشُ بعضَ الشيء، فتنغلقُ فتحةُ الثغر. كذلك تنغلقُ الثغورُ إذا حدثَ نقصٌ للماءِ في النبات.

## مراجعةُ القسم 9-5

1. ما الفرقُ بين ورقةٍ بسيطةٍ وورقةٍ مركّبة؟
2. صف الوظيفةَ الأساسيةَ لكلٍّ من الأنسجةِ الثلاثةِ في الورقة.
3. ما الأنواعُ الثلاثةُ للأوراقِ المتخصّصة؟
4. اشرحْ وظيفةَ الخلايا الحارسةِ الخاصةِ بتنظيمِ فتحِ الثغورِ وإغلاقِها؟
5. لماذا ينمو النباتُ، خلالَ فصلِ الشتاءِ في البيوتِ الزجاجيةِ، وبصورةٍ نادرةٍ، بالسرعةِ ذاتِها التي ينمو بها النباتُ ذاتُه في الخارجِ خلالَ فصلِ الصيف، حتى إن كانتْ درجاتُ الحرارةِ هي نفسَها في المكانَين معًا؟
6. **تفكيرٌ ناقد** ما أهميةُ وجودِ معظمِ الثغورِ عندَ الجانبِ الأسفلِ من ورقةٍ أفقيةٍ في نباتٍ ما؟

# مراجعة الفصل 9

## ملخص / مفردات

**1-9**

- النباتاتُ جميعُها كائناتٌ عديدةُ الخلايا. ويعيشُ معظمُها على اليابسة، وكلُّها تقريبًا تقومُ بالبناءِ الضوئي.
- يوجد 12 قسمًا من النباتات، ثلاثةٌ منها نباتاتٌ لاوعائية، والأقسام الأخرى نباتاتٌ وعائية.
- النباتاتُ اللاوعائية تسمّى الحزازيات. وهذهِ ليسَت لها جذورٌ ولا سوقٌ ولا أوراقٌ حقيقية.إنها صغيرةٌ للغاية، وتعيشُ غالبًا في مناطق رطبة.
- حزاز السفاجنوم نباتٌ حزازيٌّ مهمٌّ لإفرازِهِ حمضًا ولمقدارِ احتجازِهِ للرطوبة.
- السرخسياتُ هي الشعبةُ الغالبةُ بينَ النباتاتِ اللابذرية، ولديها محافظُ بوغيةٌ عند أوراقها.
- النباتاتُ البذرية، تكونُ إمّا معرّاة البذور، التي تتّصف ببذورٍ مكشوفة، وانعدام وجودِ الأزهار، وإما مغطّاةَ البذور، التي لديها أزهارٌ وبذورٌ داخل الثمرة.
- الصنوبريات وهي معرّاة البذور، وتشكِّلُ غاباتٍ واسعةً في النصفِ الشماليِّ من الكرةِ الأرضية.
- مغطّاةُ البذور، أو النباتاتُ الزهرية، هي القسمُ السائدُ حاليًّا.
- تتميَّزُ ذواتُ الفلقتَين من ذواتِ الفلقةِ الواحدة، من حيث: عددُ الفلقات، تعرُّقُ الأوراق، ترتيبُ نسيجِ أوعيةِ الساق، وعددُ أجزاءِ الزهرة.

**مفردات**

- الإنبات (127) Germination
- البادرة (127) Seedling
- الحزازيات (126) Bryophyta
- ذاتُ الفلقة الواحدة (128) Monocot
- ذاتُ الفلقتَين (128) Dicot
- الرايزوم (127) Rhizome
- السفاجنوم (126) Sphagnum
- المبيض (127) Ovary
- المخروط (127) Cone
- معرّاةُ البذور (125) Gymnosperms
- مغطّاةُ البذور (125) Angiosperms
- النباتُ البذري (125) Seed plant
- النباتُ اللاوعائي (125) Nonvascular plant
- النباتُ الوعائي (125) vascular plant
- النباتُ اللابذري (125) Seedlees plant
- الورقةُ السرخسية (127) Frond

**2-9**

- تتكوَّنُ النباتاتُ من ثلاثةِ أنواعٍ من الخلايا: البرنكيمية والكولنكيمية والإسكليرنكيمية.
- يتكوَّن نسيجُ البشرةِ من البشرةِ الخارجية، وهي تعملُ في الامتصاص، والنقل عبرَ الجذور، وتبادل الغازات، والحمايةِ على مدى مساحةِ السوقِ والأوراق.
- يتكوَّنُ الجزءُ الأكبرُ من الأوراقِ والسوقِ غيرِ الخشبية، والجذورِ غيرِ الخشبية، من النسيجِ الأساسي الذي يعملُ في التخزينِ والأيض والدعم.
- يتكوَّنُ النسيجُ الوعائيُّ من النسيج الخشبيِّ الذي ينقلُ الماءَ والأملاح، ومن النسيجِ اللحائيِّ، الذي ينقلُ المركّباتِ العضويةَ وبعضَ الأملاح.
- يكونُ النموُّ، عندَ أطرافِ السوقِ والجذور، بشكلٍ رئيس، وعندَ الأنسجةِ المولِّدةِ القمّية.
- في النموِّ الثانويِّ، يزدادُ قطرُ الساقِ وقطرُ الجذرِ عندَ الأنسجةِ المولِّدةِ الجانبية.

**مفردات**

- السكلرنكيمية (129) Sclerenchyma
- الأنبوب الغربالي (130) Sieve tube
- البرنكيمية (129) Parenchyma
- البشرةُ الخارجية (130) Epidermis
- الخليةُ المرافقة (131Companion cell
- الصفيحةُ الغربالية (131) Sieve plate
- الفلّين (132) Cork
- القصيبة (131) Tracheid
- الكمبيوم الفلّيني (132) Cork cambium
- الكمبيوم الوعائي (132) Vascular cambium
- الكولنكيمية (129) Collenchyma
- الكيوتكل (130) Cuticle
- النسيجُ الأساسي (130) Ground tissue
- نسيجُ البشرة (130) Dermal tissue
- النسيجُ المولِّد (132) Meristem
- النسيجُ المولِّدُ البيني (132) Intercalary meristem
- النسيجُ المولِّدُ الجانبي (132) Lateral meristem
- النسيجُ المولِّدُ القمّي (132) Apical meristem
- النسيجُ الوعائي (131) Vascular tisue
- النقرة (131) Pit
- النموُّ الأولي (132) Primary growth
- النموُّ الثانوي (132) Secondary growth
- الوعاءُ الخشبي (131) Xylem vessel

**3-9**

- الجذورُ تثبِّتُ النباتَ وتمتصُّ الماءَ والأملاحَ من التربة، وتخزنُ الغذاء.
- الجذرُ الوتديُّ جذرٌ أوليٌّ كبير. وللجذرِ الليفي كثيرٌ من الجذورِ الصغيرةِ المتشعِّبة.
- الجذورُ الفتيةُ تُنتجُ شعيراتٍ جذرية، وهي امتداداتٌ لخلايا البشرةِ الخارجية التي تزيدُ من مساحتِها السطحيةِ لتزيدَ عمليةَ الامتصاص.
- البشرةُ الداخليةُ، في الجذور، تنظِّمُ دخولَ الماءِ إلى داخلِ الجذور.

**مفردات**

- الأملاحُ المطلوبةُ بكميّاتٍ كبيرة (136) Macronutrients
- الأملاحُ المطلوبةُ بكميّاتٍ قليلة (136) Micronutrients
- البشرةُ الداخلية (135) Endodermis
- الجذرُ الوتدي (133) Taproot
- الجذورُ العرضية (133) Adventitious roots
- الجذرُ الليفي (133) Fibrous root
- الدائرةُ المحيطية (135) Pericycle
- الشعيرةُ الجذرية (134) Root hair
- القشرة (138) Cortex
- قلنسوةُ الجذر (134) Root cap

**4-9**

- تنقلُ السوقُ الموادَّ الغذائيةَ والماءَ وتخزنُهما.
- تملِكُ سوقُ النباتاتِ ذواتِ الفلقةِ الواحدة، في العادة، حزمًا وعائيةً مبعثرة، وعادةً هيَ تفتقرُ إلى النموِّ الثانوي.
- تملِكُ سوقُ النباتاتِ ذواتِ الفلقتَين حزمًا وعائيةً مرتبةً وفق حلقة، وغالبًا ما تحقّقُ نموًّا ثانويًّا وفيرًا.
- يتمثَّلُ النموُّ الثانويُّ أساسًا في الخشبِ الثانويِّ الذي يكوِّنُ الخشب.
- يشكِّلُ النسيجُ الخشبيُّ الثانويُّ في السوقِ حلقةً سنويةً واحدةً كل سنة.
- تصفُ نظريةُ التماسكِ والشدِّ عملية سحبِ الماءِ صعودًا عبرَ النسيجِ الخشبي.
- تصفُ فرضيةُ ضغطِ التدفّقِ عملية نَقلِ المركّباتِ العضويةِ في النسيجِ اللحائي.

### مفردات

**أعضاءُ التخزين** Sink (140)
**البرعم** Bud (138)
**الحلقةُ السنوية** Annual ring (139)
**الخشب** Wood (139)
**السُّلامية** Internode (138)
**العقدة** Node (138)
**فرضيةُ ضغطِ التدفُّق** Pressure-flow hypothesis (140)
**القلف** Bark (139)
**المصدر** Source (140)
**النتح** Transpiration (141)
**اللب** Pith (139)
**نظريةُ التماسكِ والشدّ** Cohesion-tension theory (141)
**نقلُ الغذاءِ الجاهز** Translocation (140)

**5-9**

- يعتمدُ التعرفُ إلى النباتاتِ على الشكلِ والحجمِ وترتيبِ أنصالِ الأوراق. والنباتاتُ ذواتُ الأوراقِ البسيطةِ أوِ الأوراقِ المركّبةِ شائعة.
- تحدثُ عمليةُ البناءِ الضوئيِّ، في معظمِها، داخلَ النسيجِ المتوسِّطِ العمادي الذي يتكونُ من طبقةٍ من الخلايا مرتبةٍ بإحكام.
- يتمُّ ضبطُ تبادلِ الغازاتِ من الأوراقِ عن طريقِ الثغور، وهي فتحاتٌ صغيرةٌ في الورقة.
- معظمُ الماءِ الذي يمتصُّهُ النباتُ يتبخّرُ عبرَ الثغورِ خلال النتح.
- يوجدُ خليتانِ حارستانِ تحيطانِ بكلِّ ثغر. عندَما تمتصُّ الخلايا الحارسَةُ الماء ينفتحُ الثغر. وعندَما تفقدُ الخلايا الحارسةُ الماءَ، ينغلقُ الثغر.

### مفردات

**التعرُّق** Venation (143)
**التعرُّقُ الشبكي** Net venation (143)
**التعرُّقُ المتوازي** Parallel venation (143)
**الخليةُ الحارسة** Guard cell (144)
**العرق** Vein (143)
**العنق** Petiole (143)
**المحلاق** Tendril (142)
**النسيجُ المتوسِّط** Mesophyll (143)
**النسيجُ المتوسِّطُ الإسفنجي** Spongy mesophyll (143)
**النسيجُ المتوسِّطُ العمادي** Palisade mesophyll (143)
**النصل** Blade (142)
**الورقةُ البسيطة** Simple leaf (143)
**الورقةُ المركّبة** Compound leaf (142)
**الوريقة** Leaflet (143)

## مراجعة

### مفردات

اختر من كلٍّ من المجموعاتِ التالية، المفردةَ التي لا تنتمي إلى المجموعة، ووضحْ سببَ ذلك.

1. الحزاز، الصنوبر، السرخس ، الذرة.
2. خليةُ الأنبوبِ الغربالي، خلايا النسيجِ المتوسِّط، القُصَيبة، خلية الوعاءُ الخشبي.
3. النسيجُ المولِّد القمّي، النسيجُ الخشبيُّ الأولي، الكمبيومُ الوعائي، البشرةُ الخارجية.
4. الخشب، القلف، البشرة، الفلين.

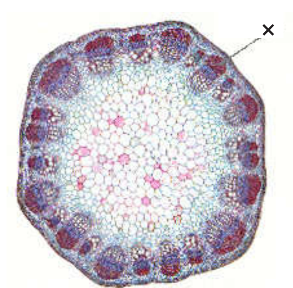
### اختيارٌ من متعدِّد

5. تساعدُ الحزازياتُ على انطلاقِ مجتمعاتٍ أحيائيةٍ جديدة عن طريقِ (أ) رصدِ تلوُّثِ الهواء (ب) تكوُّنِ تربةٍ جديدة (ج) إنتاجِ الأبواغ (د) إبطاءِ عمليةِ التحلُّل.
6. إن النجاحَ الكبيرَ لمغطاةِ البذورِ يرجعُ جزئيًّا إلى (أ) النظامِ الوعائيِّ ذي الفاعليةِ العالية (ب) البذورِ التي تحميها الثمار (ج) انتشارِ حبوبِ اللقاحِ عن طريقِ الحيواناتِ إلى الثمار وإلى البذور (د) كلِّ هذه البدائل.
7. في النباتاتِ ذواتِ الفلقةِ الواحدة (أ) عروق متوازيةٌ في الورقة (ب) ورقتانِ في البذرة (ج) أجزاءُ أزهارٍ وفقَ نظامٍ رباعي (د) أجزاءُ أزهارٍ وفق نظامٍ خماسي.
8. النسيجُ المتوسِّطُ هو موقعُ (أ) امتصاص الماء (ب) التخزين (ج) البناء الضوئي (د) النموِّ الثانوي.
9. ينتقلُ الماء، ما بينَ القصيبات عبر (أ) الجدرانِ الطرفية (ب) الثغور (ج) الأوعيةِ الخشبية (د) النقر.
10. تُفتَحُ الثغورُ وتُغلَقُ بسببِ التغيُّراتِ في ضغطِ الماءِ في (أ) الخلايا الحارسة (ب) الأنبوبِ الغربالي (ج) الشعيراتِ الجذرية (د) القشرة.
11. تعملُ الخلايا الكولنكيمية والسكلرنكيمية كلتاهما في (أ) التخزين (ب) البناءِ الضوئي (ج) الدعم (د) النقل.

12. توجدُ مادةٌ عازلةٌ للماءِ في الجدرانِ الخلويةِ (أ) للقشرةِ (ب) للبشرةِ الداخلية (ج) لخلايا النسيجِ المتوسِّطِ العمادي (د) للأنابيبِ الخشبية.
13. الموقعُ الرئيسُ للبناءِ الضوئيِّ، في النباتاتِ الصبارية، هو (أ) الجذر (ب) الورقة (ج) الزهرة (د) الساق.

### إجابةٌ قصيرة

14. ما العاملُ الذي يحدُّ من حجمِ النباتاتِ اللاوعائية؟
15. لماذا تعيشُ النباتاتُ اللاوعائيةُ، عادةً، في البيئاتِ الرطبة؟
16. لماذا تُصنّفُ السرخسياتُ والنباتاتُ الزهريةُ في شُعبٍ مختلفة؟
17. ما الذي يجعلُ قطرَ ساقِ النباتِ أو جذرَ النباتِ ينمو؟
18. صفِ الترتيباتِ المختلفةَ للحزمِ الوعائيةِ في سوقِ وأوراقِ ذواتِ الفلقةِ الواحدةِ وذواتِ الفلقتَين.
19. ما الموادُّ التي يتمُّ نقلُها بواسطةِ النسيجِ المشارِ إليه بالحرف × في هذهِ الصورةِ الفوتوغرافية؟




20. ميِّزْ بينَ النباتاتِ الخشبيةِ والنباتاتِ غيرِ الخشبية، وأعطِ مثالاً على كلٍّ منهما.
21. وضِّحْ وجهَ الاختلافِ بينَ النموِّ الأوليِّ والنموِّ الثانوي؟
22. صفْ بإيجازٍ نظريةَ التماسكِ والشدِّ في انتقالِ الماءِ عبرَ النسيجِ الخشبي؟
23. وضِّحْ آليةَ فتحِ الثغورِ وإغلاقِها بواسطةِ الخلايا الحارسة.

### تفكيرٌ ناقد

1. زنبقُ الماءِ المبيّنُ في الصورة، نباتٌ وعائيٌّ مائي. أتعتقدُ أن الكيوتيكلَ أكثرُ سمكًا عند السطحِ الأعلى للورقةِ أم عندَ السطحِ الأسفلِ للورقة؟ وضّحْ ذلك.



2. في الحزازِ المضيءِ *Schistostega pennata* خلايا على شكلِ عدساتٍ، فيها بلاستيداتٌ خضراءُ منتشرةٌ خلفَ الغشاءِ الخلويِّ المقوَّس. في أيِّ نوعٍ من المحيطِ البيئيِّ تتوقَّعُ أن تجدَ هذا الحزاز.
3. الصبّارياتُ نباتاتٌ وعائيةٌ متكيِّفةٌ مع أنواعِ المحيطِ البيئيِّ الجاف. ما هذه التكيُّفات؟
4. انسخِ الجدولَ البيانيَّ التاليَ على ورقةٍ بيضاء. املأ الفراغَ بالتراكيبِ النباتيةِ التي تتوافقُ مع التراكيبِ الخاصّةِ بالإنسان، الواردةِ في الجدولِ البياني.

**الوظائفُ التركيبيةُ المشتركة**

| الوظيفة | التركيبُ في الإنسان | التركيبُ في النبات |
|---|---|---|
| تبادلُ الغازات | الرئتان | أ |
| الدورةُ الدموية | الأوعيةُ الدموية | ب |
| مدخلُ الماء | الفم | ج |
| مدخلُ الطاقة | الفم | د |
| الغطاءُ الواقي | الجلد | هـ |
| الدعمُ الداخلي | الهيكلُ العظمي | و |
| التخزين | الخلايا الدهنية | ز |

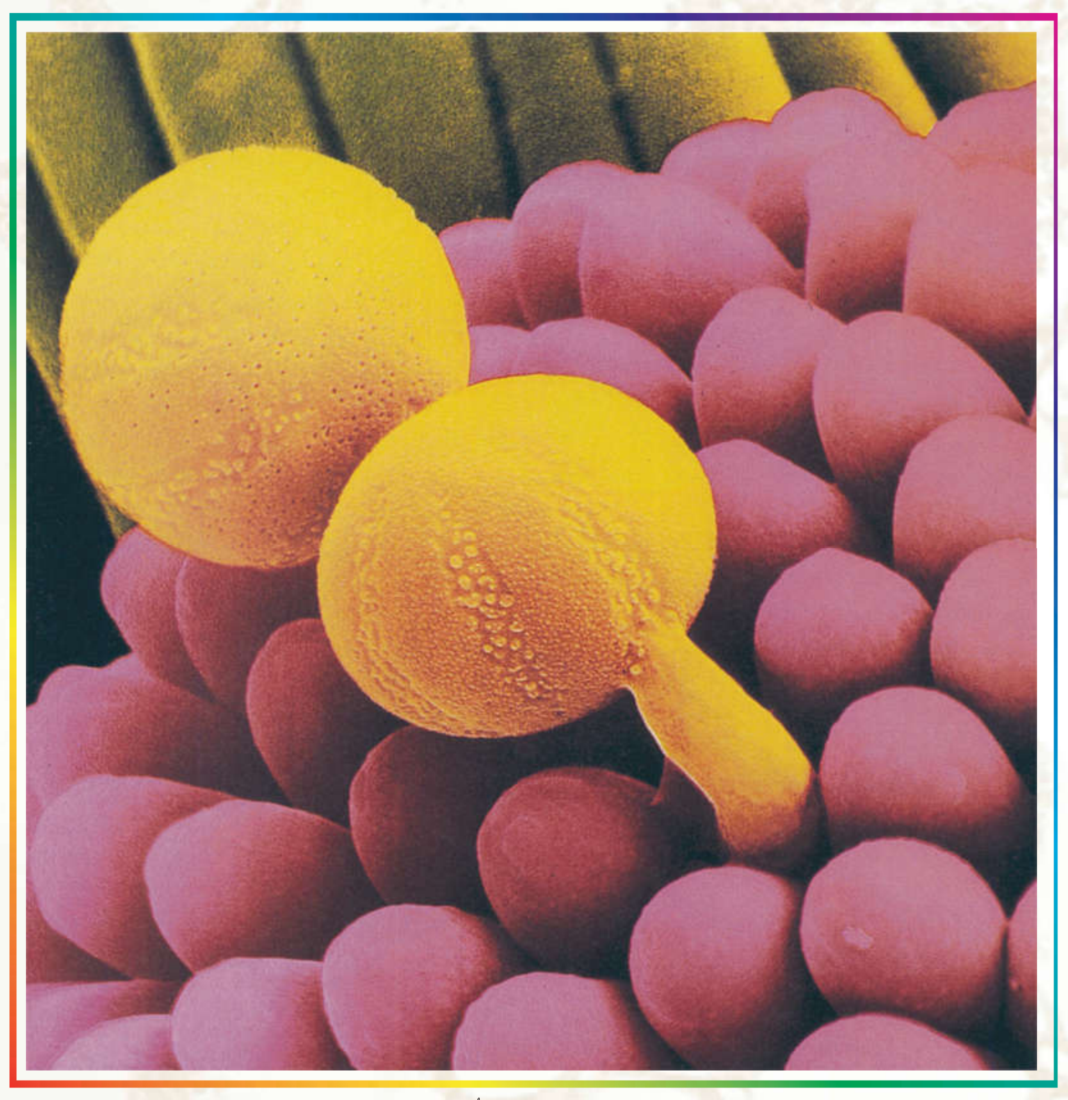
5. عندَ نقلِ النباتِ، من المهمِّ عدمُ إزالةِ ما يلزمُ من الترابِ من حولِ الجذور. بالاستنادِ إلى معرفتِكَ لوظيفةِ الجذورِ والشعيراتِ الجذرية، بيِّنْ أهميةَ هذهِ الوظيفة.
6. إذا انتُزعَتْ حلقةٌ من القلفِ حولَ ساقِ شجرة، فأيُّ تأثيراتٍ يمكنُ أن يتركَها ذلك في الجذور؟

### توسيعُ آفاقِ التفكير

1. قسِ النتحَ في نباتٍ خشبيٍّ شائع. اشترِ نباتَيْنِ زهريَّيْنِ صغيرَيْنِ أو نباتَي طماطمَ من مشتلٍ محلّي. ليكنِ النباتانِ متطابقَينِ في الطولِ، قدرَ المستطاع. تحقّقْ أن ريَّ النباتَيْنِ جيد، وضعْ غطاءَين من أكياسِ النايلون على وعاءَي النباتَيْن. اربطِ الكيسَ بحيثُ يكونُ مغلقًا عندَ قاعدةِ ساقِ النباتِ دونِ إلحاقِ الأذى بساقِه. زِنْ كلَّ وعاءٍ، بالجرامات، وسجِّلِ الوزن. ضعْ نباتًا في الظلام، وآخر في الضوءِ الساطع. ثم زِنِ الوعاءَين بعدَ انقضاءِ ساعتَين، واحسُبْ مقدارَ النتحِ، بالجرامات، على النحوِ التالي: النتح = الوزن الأصلي - الوزن النهائي. إذا لم تجدْ أيَّ اختلافٍ في النتحِ، أطِلِ الفترةَ الزمنيةَ للتجربة. في أيِّ حالةٍ كانَ مقدارُ النتحِ أكبر؟ لماذا؟

الفصلُ 10

# تكاثُر النبات



حبّتا لقاح موجودتانِ على ميسمِ زهرةِ نبات. يظهرُ أنبوبُ اللقاحِ وهو يبرزُ من إحدى حبّاتِ اللقاحِ ويتجهُ نحو المبيض.

**المفهومُ الرئيس:** التكاثر

لاحظْ، وأنت تقرأ، تكيّفاتٍ كثيرةً في النبات، تساهمُ في نجاحِ تكاثرِ النباتِ وحمايتِهِ وتوزُّعِه.

# دورةُ حياةِ النباتات

تشتملُ دورةُ الحياةِ على جميعِ مراحلِ النموِّ عندَ كائنٍ حيٍّ وعلى تطوُّره. تذكرْ من الفصلِ 9، أن دورةَ حياةِ النبات تتألّفُ من طورَيْنِ متعاقبَيْنِ عديدَي الخلايا. الطورُ البوغي ثُنائيُّ المجموعةِ الكروموسومية (2n)، والطورُ المشيجيُّ أُحاديُّ المجموعةِ الكروموسومية (n). ويسمّى هذا النوعُ من دورةِ الحياةِ تعاقبَ الأجيال. تذكُر كذلك أن حجمَ الجسمِ المشيجيِّ وحجمَ الجسمِ البَوغيِّ يختلفانِ بحسبِ الأقسامِ النباتية.

القســم

# 1-10

## مؤشّراتُ الأداء

▲ يصفُ دورةَ حياةِ نباتٍ حزازي.

● يصفُ دورةَ حياةِ سرخسٍ نموذجي.

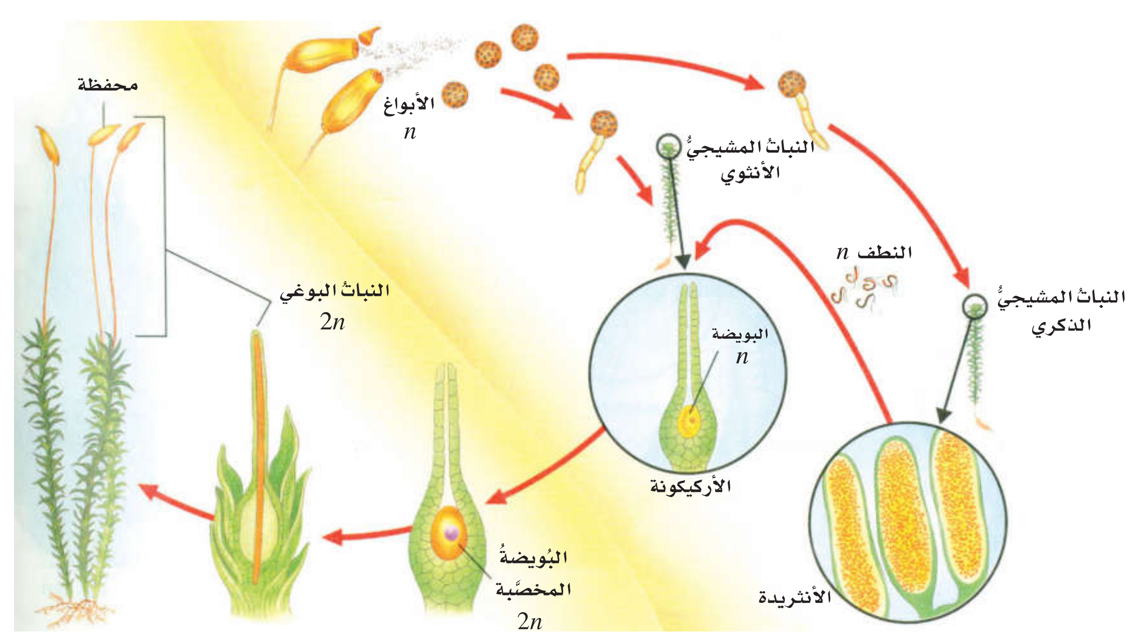
■ يصفُ دورةَ حياةِ نباتٍ من معرّاةِ البذور.

## دورةُ حياةِ الحزازيات

الشكلُ السائدُ للحزازِ هو الطورُ المشيجيُّ ذو أشباهِ الأوراقِ الخضراء. انظرْ دورةَ حياةِ نباتِ الفيوناريا Funaria المبينةَ في الشكل 10-1. يُنتِجُ الطورُ المشيجيُّ أمشاجًا ضمنَ نوعينِ من التراكيبِ التكاثرية، العضوُ الذكريُّ والعضوُ الأُنثوي. العضوُ الذكريُّ يسمّى **أنثريدة Antheridium** وهو يُنتِجُ، عن طريقِ الانقسامِ المتساوي، المئاتِ من النطفِ ذاتِ السوط. **والعضوُ الأنثويُّ** يسمّى **أركيكونة Archegonium** وهو يُنتِجُ، عن طريقِ الانقسامِ المتساوي أيضًا بويضةً واحدة. أثناءَ فتراتِ الخصوبةِ تنفصلُ النطفُ عن الأنثريدة، وتسبحُ في اتجاهِ الأركيكونةِ لتخصيبِ البُويضةِ عندَ قاعدتِها. فتتكوَّنُ بُويضةٌ مخصَّبةٌ ثنائيةُ المجموعةِ الكروموسومية. وعبرَ انقساماتٍ متساويةٍ عديدةٍ متكرّرة، تكوِّنُ البُويضةُ المخصَّبةُ جنينًا فينمو ويصبحُ نباتًا بوغيًّا جديدًا.

يبدأ النباتُ البَوغيُّ من نباتِ الحزازِ بحاملٍ ينمو من الطرفِ الرأسيِّ للنباتِ المشيجي. ويستمرُّ هذا النباتُ البَوغيُّ مثبّتًا بالنباتِ المشيجي، ومعتمدًا عليهِ بالتغذية.

**الشكل 10-1**
تشتملُ دورةُ حياةِ الحزازِ على نباتٍ في الطورِ المشيجيِّ، كبيرٍ نسبيًا مورقٍ وأخضر، ينتجُ أمشاجًا، وعلى نباتٍ في الطورِ البوغيِّ ينمو عندَ الطرفِ الرأسيِّ للنباتِ المشيجي، وينتجُ نوعًا واحدًا فقط من الأبواغ. والنطفُ ذاتُ السوطِ تسبحُ في اتجاهِ البُويضات.



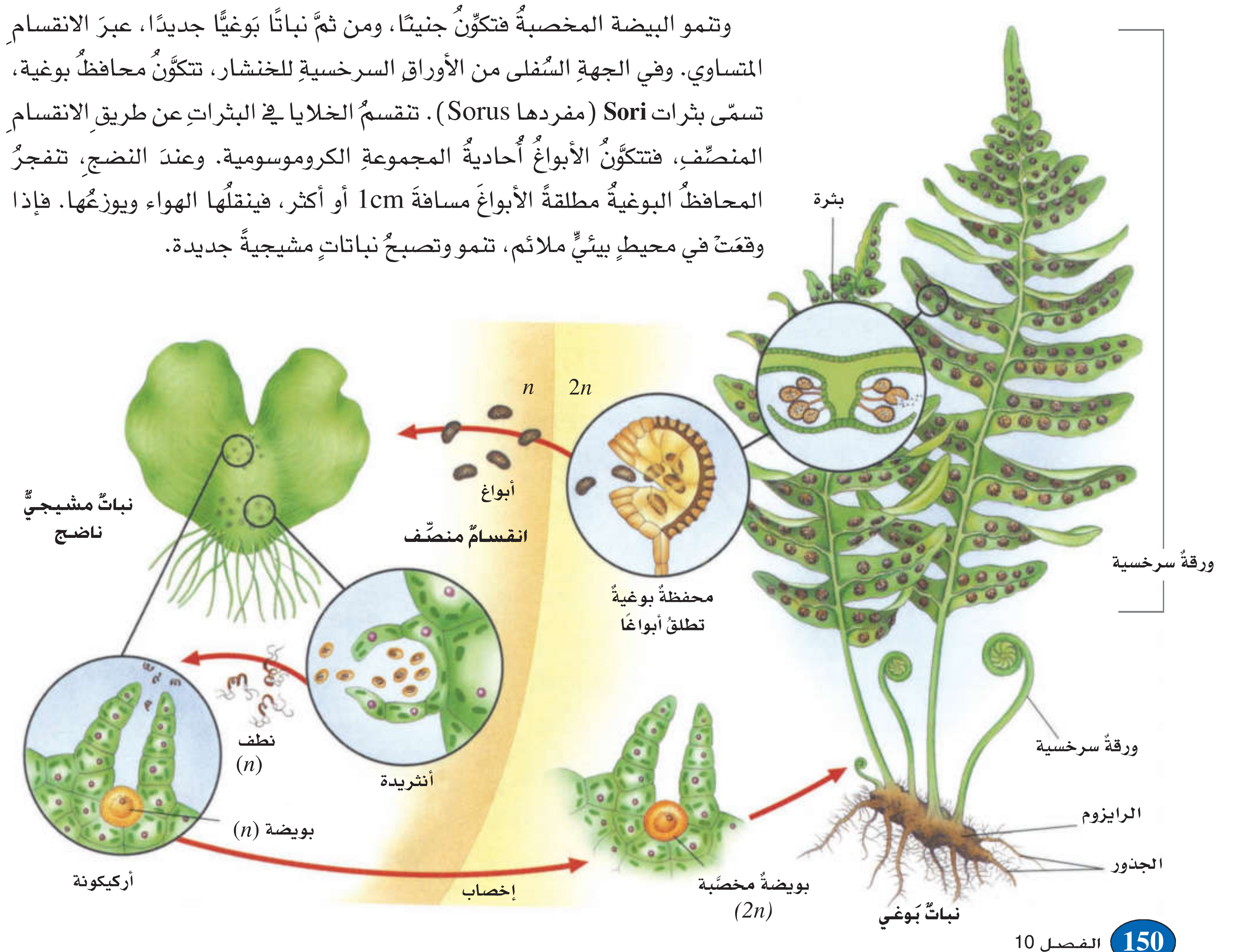
وبعد ذلك ، تكوّنُ الخلايا عندَ الطرفِ الرأسيِّ للحاملِ محفظةً بوغية. تنقسمُ خلايا المحفظةِ عن طريقِ الانقسامِ المنصِّفِ لتكوّنَ **أبواغًا Spores** أحاديةَ المجموعةِ الكروموسومية. وعندَما تصلُ الأبواغُ إلى مرحلةِ النضجِ تنفجرُ المحفظةُ البوغية، وتنتشرُ الأبواغُ مع الرياح. فالأبواغُ التي تسقطُ في محيطٍ بيئيٍّ مناسبٍ تنمو لتصبحَ نباتاتٍ مشيجيةً جديدة.

## دورةُ حياةِ السرخسيات

إن دورةَ حياةِ السرخسيات، التي تمثِّلها دورةُ حياةِ نباتِ الخنشار، المبيّنةَ في الشكل 2-10، تشبهُ دورةَ حياةِ نباتِ الحزاز. فهي تمرُّ بطورٍ مشيجيٍّ وطورٍ بوغي، إلا أنها تتميزُ بسيادةِ الطورِ البوغي. وكما في الفيوناريا، ينمو النباتُ البَوغيُّ من النباتِ المشيجي. والنباتُ المشيجيُّ للخنشارِ صغيرٌ جدًّا (يبلغُ قطرُه حوالي 10 mm). وهو نباتٌ مفلطحٌ مثبَّتٌ في التربةِ بواسطةِ أشباهِ الجذور. تتكوّنُ الأنثريدةُ والأركيكونةُ عندَ السطحِ السُّفليِّ للنباتِ المشيجي. وعندَما يكونُ الماءُ متوفرًا تسبحُ النطف، التي تطلقُها الأنثريدات، في اتجاهِ الأركيكونات. تتحدُ نطفةٌ واحدةٌ ببويضةٍ في أركيكونة، فتتكوَّنُ بُويضةٌ مخصَّبة، هي الخليةُ الأولى لنباتٍ بوغيٍّ جديد.

وتنمو البيضة المخصبةُ فتكوِّنُ جنينًا، ومن ثمَّ نباتًا بَوغيًّا جديدًا، عبرَ الانقسامِ المتساوي. وفي الجهةِ السُّفلى من الأوراقِ السرخسيةِ للخنشار، تتكوَّنُ محافظُ بوغية، تسمّى بثرات **Sori** (مفردها Sorus). تنقسمُ الخلايا في البثراتِ عن طريقِ الانقسامِ المنصِّفِ، فتتكوَّنُ الأبواغُ أُحاديةُ المجموعةِ الكروموسومية. وعندَ النضجِ، تنفجرُ المحافظُ البوغيةُ مطلقةً الأبواغَ مسافةَ 1cm أو أكثر، فينقلُها الهواء ويوزعُها. فإذا وقعَتْ في محيطٍ بيئيٍّ ملائم، تنمو وتصبحُ نباتاتٍ مشيجيةً جديدة.

**الشكل 2-10**
إن دورةَ حياةِ معظمِ السرخسيات، تشتملُ على نباتٍ بوغيٍّ كبيرِ الحجم، يُنتجُ نوعًا واحدًا فقط من الأبواغ، وعلى نباتٍ مشيجيٍّ، صغيرِ الحجم، يُنتجُ أمشاجًا. ويتمُّ إنتاجُ البويضاتِ والنطف معًا في النباتِ المشيجي نفسه.



## دورةُ حياةِ المخروطيات

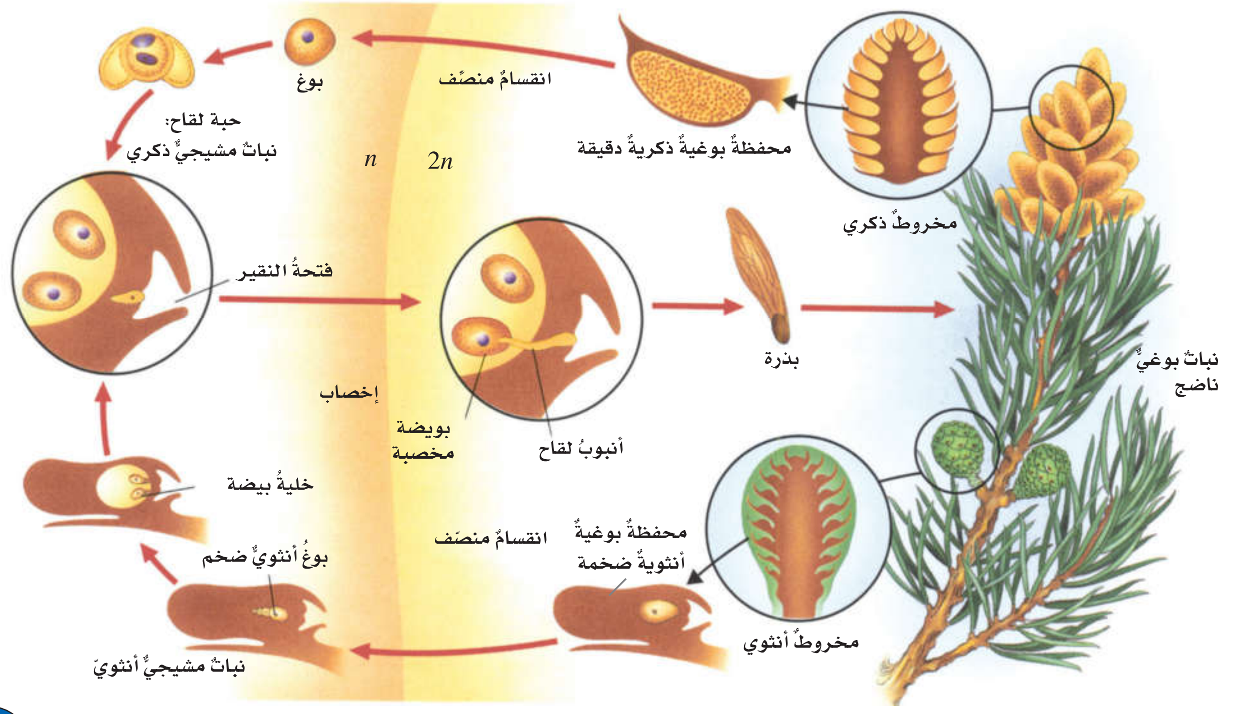
تُنتجُ مُعرّاةُ البذورِ، بخلافِ الحزازياتِ ومعظمِ النباتاتِ السرخسية، نوعينِ من الأبواغ، هما **الأبواغُ الذكريةُ الدقيقةُ Microspores** و**الأبواغُ الأنثويةُ الضخمةُ Megaspores**. تنمو الأبواغُ الذكريةُ الدقيقةُ، فتكوّنُ نباتاتٍ مشيجيةً ذكرية، بينما تنمو الأبواغُ الأنثويةُ الضخمةُ وتكوّنُ نباتاتٍ مشيجيةً أنثوية.

يبيّنُ الشكل 10-3 دورةَ حياةِ نبات صنوبر، وهو أكثرُ أصنافِ النباتاتِ مُعرّاةِ البذورِ شيوعًا. تمثّلُ دورةُ حياةِ الصنوبرِ كيفيةَ تكاثرِ النباتاتِ البذرية، التي تتكاثرُ من دون توفّرِ الماءِ للأمشاجِ الذكريةِ لتسبحَ فيه. فشجرةُ الصنوبرِ بمثابةِ نباتٍ بوغي. ولا يمكنُ لأشجارِ الصنوبرِ أن تتكاثرَ جنسيًّا قبلَ نضجِها. وتحتاجُ أشجارُ الصنوبرِ، بحسبِ أنواعِها، إلى فترةٍ تراوحُ بين ثلاثِ سنواتٍ وثلاثينَ سنةً لتصلَ إلى مرحلةِ النضج.

وتحتاجُ عمليةُ التكاثرِ الجنسي، في أشجارِ الصنوبرِ إلى فترةٍ زمنيةٍ تفوقُ السنتين. فبعد النضجِ تنتجُ شجرةُ الصنوبرِ، أثناءَ الصيف، مخاريطَ ذكريةً ومخاريطَ أنثويةً منفصلة. تُنتجُ المخاريطُ الذكريةُ المحافظَ البوغية الذكريةَ الدقيقة، بينما تُنتجُ المخاريطُ الأنثويةُ المحافظَ البوغيةَ الأنثويةَ الضخمة. وفي الربيعِ التالي تنقسمُ الخلايا في جميعِ المحافظِ البوغية، عن طريقِ الانقسامِ المنصِّف، وتنتجُ أبواغًا أحاديةَ المجموعةِ الكروموسومية. هذه الأبواغُ لا تغادرُ النباتَ الأُمَّ على الإطلاق، ولا تنمو بصورةٍ مستقلة.

**المحافظُ البوغيةُ الأنثويةُ الضخمة Megasporangia** تنتجُ أبواغًا أنثويةً تنمو لتصبحَ **نباتاتٍ مشيجيةً أنثويةً ضخمة Megagametophytes**. وتحيطُ بكلِّ محفظةٍ بوغيةٍ طبقةٌ سميكةٌ من الخلايا، تسمّى **الأغلفة Integuments**، وفيها فتحةٌ

**الشكل 10-3**
دورةُ حياةِ النباتاتِ مُعرّاةِ البذورِ تشتملُ على نباتٍ بَوغيٍّ كبير، يُنتجُ نوعينِ من الأبواغ، وعلى نباتاتٍ مشيجيةٍ مجهرية، تُنتجُ الأمشاج. النباتاتُ المشيجيةُ الأنثويةُ تنتجُ خلايا بيوض، والنباتاتُ المشيجيةُ الذكريةُ تُنتجُ أمشاجًا ذكرية. والأمشاجُ الذكرية، غيرُ المزودةِ بأسواط، تصلُ إلى البويضات، عبرَ أنبوبِ اللقاح.



**الشكل 4-10**

تنتجُ المخاريطُ الذكريةُ (مخاريطُ حبوبِ اللقاح) لأشجارِ الصنوبر، الملايينَ من حبوبِ اللقاح. ثم تموت. تُنتجُ الأنواعُ ذاتُ التلقيحِ بواسطةِ الرياح، كمياتٍ كبيرةً من حبوبِ اللقاح. والأعدادُ الكبيرةُ من حبوبِ اللقاح تزيدُ من احتمالاتِ تلقيحِ المخاريطِ الأنثوية (مخاريطُ البذور).



صغيرةٌ، تسمّى **فتحةَ النقير Micropyle**. المحفظةُ البوغيةُ الأنثويةُ الضخمة، تكوِّنُ مع الجدارِ الواقي تركيبًا يسمّى **البُويضة Ovule**. أما **المحافظُ البوغيةُ الذكريةُ الدقيقةُ Microsporangia** فتنتجُ أبواغًا ذكرية، تنمو لتصبحَ **نباتاتٍ مشيجيةً ذكريةً دقيقة Microgametophytes**. إن **حبةَ اللقاح Pollen grain** هي نباتٌ مشيجيٌّ ذكريٌّ لنباتٍ بذري.

تطلقُ المخاريطُ الذكريةُ لنباتِ الصنوبرِ أعدادًا هائلةً من حبوبِ اللقاح، كما في الشكل 4-10، تنتقلُ في الهواء، ولا يتمكنُ إلا عددٌ قليلٌ منها من الوقوعِ على مخروطٍ أنثوي. تنزلقُ حبوبُ اللقاح بين الأوراقِ البوغيةِ الأنثويةِ حتى تصلَ إلى البويضات Ovule. يسمّى وصولُ حبّةِ اللقاحِ إلى فتحةِ نقيرِ البويضةِ عمليةَ التلقيح. ويوجدُ عندَ فتحةِ النقيرِ قطرةٌ سائلةٌ تلتقطُ حبةَ اللقاح. وبينما تجفُّ قطرةُ السائلِ هذه، يتمُّ سحبُ حبةِ اللقاحِ إلى داخلِ فتحةِ النقير. وبعدَ التلقيحِ يُنتِجُ النباتُ المشيجيُّ الأنثويُّ الضخمُ، الموجودُ داخلَ البويضة، الأعضاءَ الأنثويةَ وخلايا البيوض.

بعد عمليةِ التلقيح، تبدأُ حبّاتُ اللقاحِ في تكوينِ **أنبوبِ اللقاح Pollen tube**، الذي يشكِّلُ امتدادًا مرنًا لحبّةِ اللقاح، ويمكِّنُ الخليّةَ الذكريةَ من الوصولِ إلى خليةِ البيضة. والخلايا الذكريةُ لنباتِ الصنوبر، بخلافِ الخلايا الذكريةِ للنباتاتِ اللابذرية، لا تملكُ أيَّ أسواط، ولا يمكنُها أن تسبحَ لتصلَ إلى البويضة، بينما يحتاجُ أنبوبُ اللقاحِ إلى ما يقاربُ السنةَ للوصولِ إلى بويضةٍ لا تبعدُ عنه أكثرَ من بضعةِ ملِّيمترات. وخلال هذه الفترة، تتكوَّنُ خليتانِ ذكريتانِ داخلَ أنبوبِ اللقاح، فتتحدُ خليةٌ منهما مع خليةِ بيضةٍ واحدةٍ وتكوّنانِ بويضةً مخصَّبة. أما الخليةُ الذكريةُ الثانيةُ وأنبوبُ اللقاحِ فيتلاشيانِ خلالَ الأشهرِ القليلةِ التالية. وتنمو البويضةُ المخصَّبةُ وتكبرُ، لتصبحَ جنينًا، فيما تصلُ البويضةُ إلى مرحلةِ البلوغ، لتصبحَ بذرة.

## مراجعةُ القسم 1-10

1. ميِّزْ بين الأنثريدة والأرشيجونة، واذكرْ وظيفةَ كلٍّ منهما.
2. بمَ يختلفُ النباتُ البوغيُّ عن النباتِ المشيجيِّ في الحزاز؟
3. اذكرْ ثلاثةَ فروقٍ بين دورةِ حياةِ الخنشارِ ودورةِ حياةِ الصنوبر.
4. بمَ تختلفُ أبواغُ النباتاتِ البذريةِ عن أبواغِ الحزازياتِ ومعظمِ النباتاتِ السرخسية؟
5. وضّحْ أهميةَ الماءِ في تكاثرِ الحزازياتِ والسرخسيات.
6. **تفكيرٌ ناقد** يعيشُ الكثيرُ من الحزازياتِ والنباتاتِ السرخسيةِ في الصحراء. كيفَ يحدثُ ذلك بحسبِ رأيك؟

القســـم

2-10

مؤشراتُ الأداء



يحدِّدُ الأجزاءَ الأربعةَ الرئيسةَ للزهرة.



يوضحُ خطواتِ تكوينِ البويضةِ وحبوبِ اللقاح.

يربطُ بينَ تركيبِ الزهرةِ وطرقِ التلقيح.

يوضحُ الإخصابَ في النباتاتِ الزهرية.

يقارنُ بينَ دورةِ الحياة في النباتاتِ مُعرّاةِ البذورِ والنباتاتِ مغطّاةِ البذور.

# التكاثرُ الجنسيُّ في النباتاتِ الزهرية

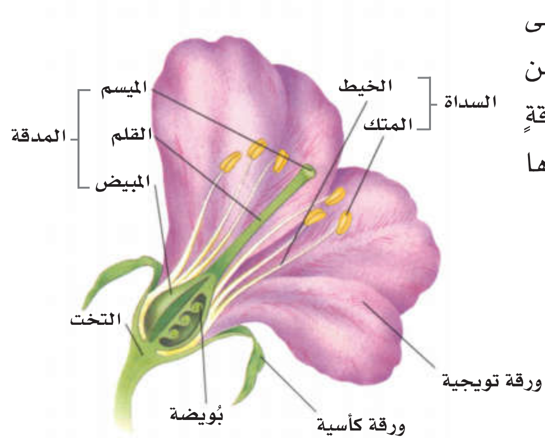
لا شكَّ أنك تمتعْتَ بألوانِ الأزهارِ البرّاقة، وأشكالِها الجذّابة، وأريجِها العطِر. هذه الصفاتُ تشكّلُ تكيّفاتٍ تساهمُ في نجاحِ التكاثرِ الجنسي، باجتذابِها للحيواناتِ الملقِّحة. غيرَ أن بعضَ الأزهارِ تفتقرُ إلى الألوانِ الجذّابةِ والأريجِ العطِرِ والحجمِ الكبير. هذه الأزهارُ تعتمدُ على الرياحِ أو الماءِ في عمليةِ التلقيح.

## أجزاءُ الزهرة

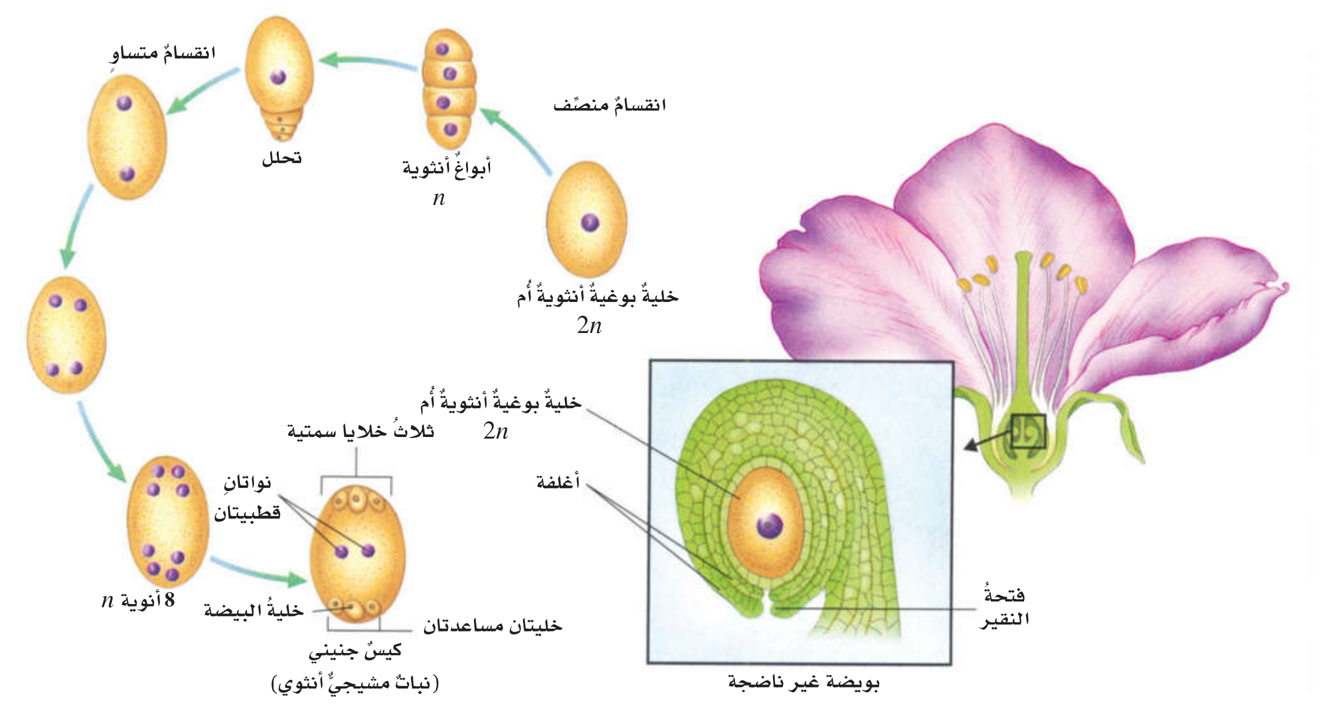
يَعتبرُ علماءُ النباتِ أن الأزهارَ فروعٌ عاليةُ التخصُّص، وأن أجزاءَ الزهرةِ عبارةٌ عن أوراقٍ متخصِّصة، تتشكّلُ عند الطرفِ العلويِّ المنتفخِ من فرعٍ طلعَتْ أزهارُه، ويسمّى **التخت Receptacle**.

تكونُ أجزاءُ الزهرةِ على شكلِ أربعةِ محيطات متحدة المركز. الشكل 10-5 يبيِّنُ زهرةً نموذجيةً مع كامل أجزائِها. **الأوراق الكأسية Sepals** تكوِّنُ المحيطَ الخارجيَّ الأبعدَ من أجزاءِ الزهرة. إنها تحيطُ الأجزاءَ الأُخرى من الزهرةِ الناميةِ، وتحميها قبلَ أن تتفتّح. **والأوراق التويجية Petals** تشكِّلُ المحيطَ الذي يلي. وإن معظمَ الأزهارِ التي يجري تلقيحُها بواسطةِ الحيوانات هي ذاتُ بتلاتٍ برّاقةِ الألوان. أما المحيطانِ الأقربُ إلى داخلِ أجزاءِ الزهرةِ فيحتويانِ على التراكيبِ التكاثرية. التراكيبُ الذكريةُ تسمّى **الأسدية Stamens** وتتألفُ كلٌّ منها من **المتك Anther** **والخيط Filament**. يحتوي المتكُ على مَحافظِ الأبواغِ الذكرية، التي تتحوّلُ إلى حبوبِ اللقاح. والخيطُ الشبيهُ بالسويق يحملُ المتك. والمحيطُ الأبعد، من جهةِ الداخل، يحتوي على التراكيبِ التكاثريةِ الأنثوية، التي تسمّى **الكرابل Carpels**. تتحدُ كربلةٌ واحدة، أو عدةُ كرابلَ معًا، لتكوِّنَ التركيبَ الذي يسمّى **المدقة (المتاع) Pistil**. والقاعدةُ العريضةُ للمدقةِ تسمّى المبيض Ovary.

**القلمُ Style**، الذي يشبهُ عادةً السويقَ، ينشأُ عن المبيض. وأعلى القلَم يسمّى **الميسم Stigma**. يكونُ الميسمُ ذا مادةٍ لاصقةٍ لزجة، أو مزوَّدًا بشُعيرات، تمكِّنُهُ من التقاطِ حبوبِ اللقاح. ومعظمُ أنواعِ النباتاتِ الزهريةِ تحملُ أزهارًا ذاتَ أسْديةٍ ومدقةٍ معًا. إلاّ أن بعضَ الأنواعِ الأخرى هي ذاتُ أزهارٍ مزوَّدةٍ بأسديةٍ فقط (أزهارُها ذكرية)، أو بمدقةٍ فقط (أزهارُها أنثوية).




**الشكل 10-5**
في هذا الرسمِ التخطيطيِّ تظهرُ زهرةٌ ذاتُ أجزاءٍ كاملة هي: الأوراقُ الكأسيةُ والتويجيةُ والأسديةُ والمدقة. وتوجدُ أزهارٌ كثيرةٌ تفتقرُ إلى محيطٍ من التراكيبِ أو أكثر.




**الشكل 6-10**
يكشفُ مقطعُ بويضةٍ غيرِ ناضجةٍ لإحدى الأزهار، عن خليةٍ بوغيةٍ أنثويةٍ أمّ. تنقسمُ هذه الخليةُ انقساماً منصّفاً، فتنتجُ أربعةَ أبواغٍ أنثوية. ينقسمُ أحدُها ثلاثَ مرات، ليكوّنَ كيساً جنينياً (نباتاً مشيجياً أنثوياً).

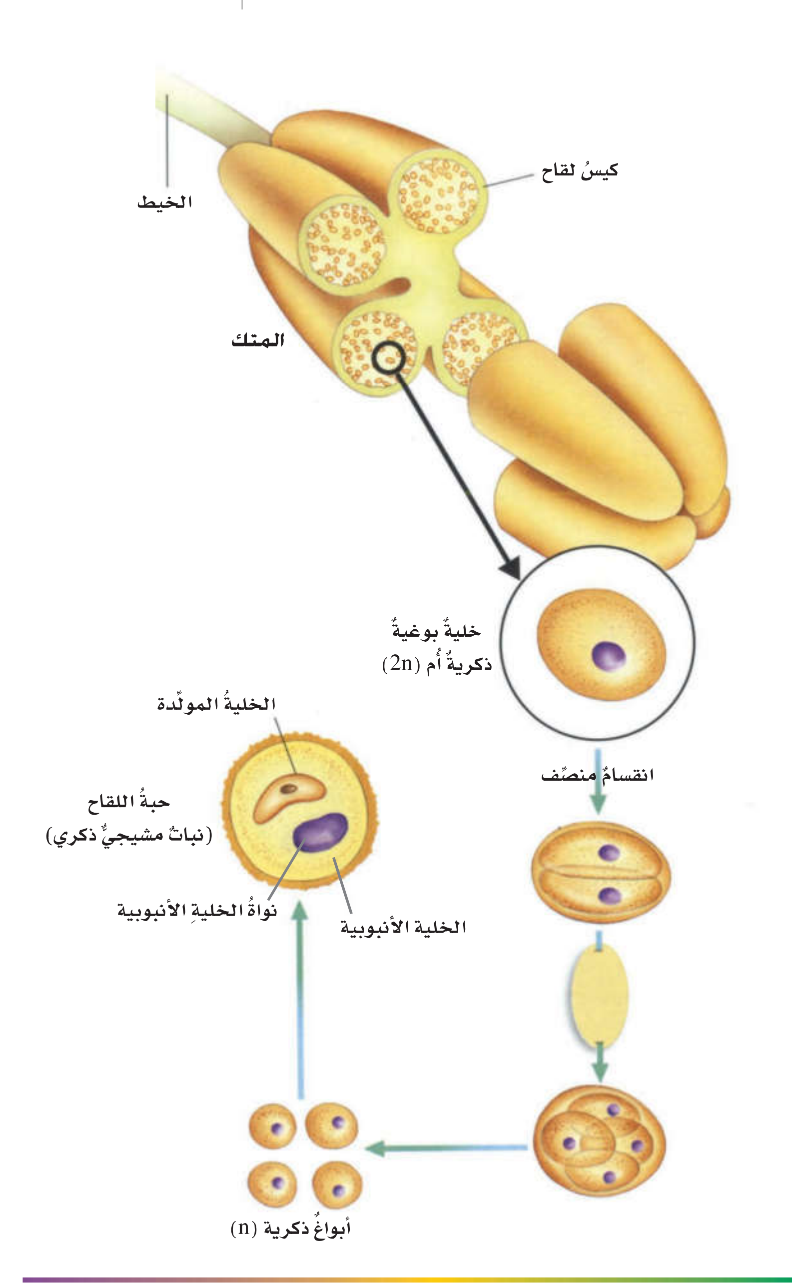
## تكوينُ البويضات

تتكوَّنُ البويضاتُ في النباتاتِ الزهرية، في المبيض. وكما يظهرُ في الشكل 6-10 تتكوَّنُ بويضةُ النباتاتِ الزهريةِ في محفظةِ الأبواغِ الأنثويةِ الضخمة، وتكونُ محاطةً بغلافَين. يحيطُ الغلافانِ بالبويضةِ إحاطةً تامّة، لايُستثنى منها سوى فتحةِ النقير، التي يمكنُ لأنبوبِ اللقاحِ أن يمرَّ عبرَها. وفي الأساس، تحتوي البويضةُ على خليةٍ كبيرةٍ ثنائيةِ المجموعةِ الكروموسومية، تسمّى الخليةَ البَوغيةَ الأُنثويةَ الأُم.

تبدأُ **الخليةُ البوغيةُ الأنثويةُ الأمُّ Megaspore mother cell** عملية انقسامٍ منصِّف، وتُنتجُ أربعةَ أبواغٍ أنثويةٍ أحاديةِ المجموعةِ الكروموسومية، واحدٌ منها فقط يكبرُ في الحجم، أما الثلاثةُ الأخرى فتتلاشى. تنقسمُ نواةُ البَوغِ الأنثوي الضخمِ المتبقّي ثلاثةَ انقساماتٍ متساويةٍ متتالية، وتنتجُ ثمانيَ أنويةٍ أحاديةِ المجموعةِ الكروموسومية. تحتلُّ هذه الأنويةُ أماكنَ محددةً داخلَ البويضة، وهو ما يمكنُك رؤيتُه في الشكل 6-10. وتكونُ الأنويةُ أساساً مرتَّبةً، في مجموعتَين، كلٌّ منهما من أربعِ أنوية، وتكونُ كلُّ مجموعةٍ عند طرفٍ واحدٍ من الخلية. ويحدثُ بعدئذٍ التالي:

- تنتقلُ نواةٌ واحدةٌ من كلِّ مجموعةٍ إلى وسطِ الخلية. وهاتانِ النواتان تسمَّيانِ **النواتَين القطبيتَين Polar nuclei** لأنهما جاءتا من طرفَي الخليّة.
- تتكوَّنُ جدرانٌ خلويةٌ حولَ كلٍّ من الأنويةِ الستِّ المتبقّية.
- تنمو وتكبرُ إحدى الخلايا الثلاث، الموجودةُ بالقربِ من فتحةِ النقير، لتصيرَ خليةَ البيضة. أما الخلايا الخمسُ المتبقّية، فتتلاشى بعد عمليةِ الإخصاب.

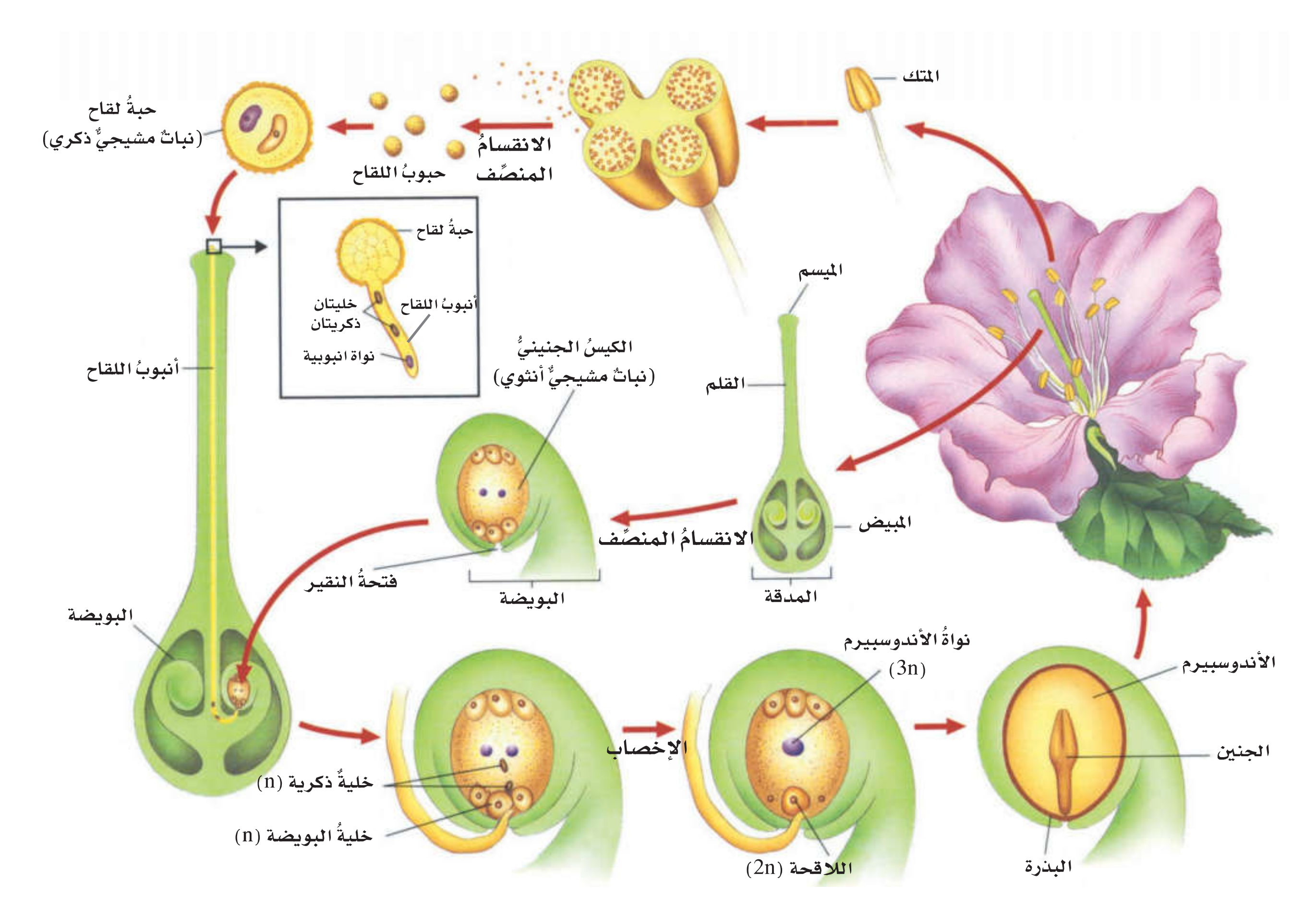
والتركيبُ الناتجُ عن ذلك، والذي يحتوي على سبعِ خلايا وثماني أنوية، يسمّى **الكيسَ الجنيني Embryo sac**، وهو نباتٌ مشيجيٌّ أنثويٌّ ناضج. وهذا التركيبُ هو سمةٌ أُخرى تتصفُ بها النباتاتُ مُغطّاةُ البذور، بينما تفتقرُ إليها النباتاتُ مُعرّاةُ البذور.




**الشكل 10-7**
المقطعُ العرضيُّ للمتكِ في الزهرةِ يكشفُ عن وجودِ أربعةِ أكياسِ لقاح (هي محافظُ بَوغيةٌ ذكرية) تحتوي على الخلايا البَوغيةِ الأمِّ التي تنقسمُ انقسامًا منصّفًا، وتنتجُ أبواغًا ذكرية. كلُّ بَوغٍ منها ينمو ويكوّنُ حبةَ لقاحٍ ذات خليّتين (هي نباتٌ مشيجيٌّ ذكري).

## تكوينُ حبوبِ اللقاح

تتكوّنُ حبوبُ اللقاح، في النباتاتِ الزهرية، في متكِ الزهرة، الشكل 10-7. في المتكِ أربعةُ أكياسِ حبوبِ لقاح. تحتوي أكياسُ حبوبِ اللقاحِ على العديدِ من الخلايا ثنائيةِ المجموعةِ الكروموسومية، هي **خلايا بَوغيةٌ ذكريةٌ أم Microspore mother cells**. تنقسمُ كلٌّ من تلك الخلايا انقسامًا مُنصِّفًا، وتنتجُ أربعَ خلايا بَوغيةً ذكريةً أُحاديةَ المجموعةِ الكروموسومية. ثم ينقسمُ البَوغُ انقسامًا متساويًا، فيُنْتجُ خليتينِ أحاديتَي المجموعةِ الكروموسومية. وبعدَ ذلك، يتكوّنُ جدارٌ سميكٌ حولَ البَوغِ الذكري. فالتركيبُ الثنائيُّ الخليةِ الناتجُ عن ذلك هو حبّةُ لقاح، وهي النباتُ المشيجيُّ الذكريّ. كُبرى هاتينِ الخليتينِ هي **الخليّةُ الأنبوبية Tube cell** التي تحتوي على النواةِ الأنبوبية. عندما تنبتُ حبّةُ اللقاح، تدعُ النواةُ الأنبوبيةُ الخليةَ الأنبوبيةَ تنمو عبرَ القلمِ مشكِّلةً أنبوبَ اللقاح. أما صُغرى الخليتينِ الآنفتي الذكر، فهي **الخليةُ المولّدة Generative cell** التي تنقسمُ انقسامًا متساويًا، لتكوّنَ خليتينِ ذكريتَين.




**الشكل 10-8**
إثرَ التلقيح، تنبتُ حبةُ لقاح، فتكوِّنُ أنبوبَ لقاح. ينمو ويجتازُ القلم، ليدخلَ البويضةَ عبرَ فتحةِ النقير. تجتازُ خليتانِ ذكريتانِ أنبوبَ اللقاح، باتجاهٍ سفلي. إحداهما تخصِّبُ خليةَ البيضة، في الكيسِ الجنيني، فتتكوَّنُ اللاقحة. وتخصِّبُ الثانيةُ النواتينِ القطبيتين، فيتكوَّنُ الأندوسبيرم. هذه العمليةُ تسمّى الإخصابَ المزدوج.

## التلقيحُ والإخصاب

قبلَ إخصابِ خليةِ البيضةِ الموجودةِ داخلَ الكيسِ الجنيني، يجبُ نقلُ حبوبِ اللقاحِ من المتكِ إلى الميسم. هذه العمليةُ تسمّى التلقيح. يمكنُ أن يكونَ التلقيحُ ذاتيًّا، أي عبرَ أجزاءِ الزهرةِ نفسِها، أو ما بين أزهارٍ موجودةٍ على النباتِ ذاتِه، أو بوسائلَ أُخرى، كعملِ الإنسانِ أو الرياحِ والماءِ والحشرات. ويكون تلقيحًا خليطًا.

والإخصابُ هو اتحادُ الأمشاجِ الذي يلي عمليةَ التلقيح. ولكي تتمَّ عمليةُ الإخصابِ يجبُ أن ينموَ أنبوبُ اللقاحِ ويتجهَ نحوَ خليةِ البيضة، كما يجبُ أن تتكوّنَ الخلايا الذكرية. يحتاجُ أنبوبُ اللقاحِ في النباتاتِ الزهرية، بعدَ التلقيح، إلى يومٍ أو يومين ليصلَ إلى خليةِ البيضة. الشكل 10-8.

عندما تنبتُ حبةُ اللقاحِ تكوّنُ نواةُ الخليةِ الأنبوبيةِ أنبوبَ اللقاحِ الذي يخترقُ الميسمَ والقلمَ في اتجاهِ المبيض. وفي أثناءِ نموِّ أنبوبِ اللقاحِ تنقسمُ خليّةُ المولِّدةُ بالانقسامِ المتساوي، وتكوّنُ خليتَين ذكريتَين ($n$). ويصلُ أنبوبُ اللقاحِ إلى البويضةِ الموجودةِ داخلَ المبيض، فيدخلُها عبرَ فتحةِ النقير. بعدَ دخولِ أنبوبِ اللقاحِ

إلى الكيسِ الجنيني يصبحُ في إمكانِ الخليتين الذكريتينِ الوصولُ إلى خليةِ البيضة، عبرَ أنبوبِ اللقاح.

تتحدُ إحدى الخليتينِ الذكريتينِ بخليةِ البيضة، فتتكوَّنُ اللاقحة ($2n$) وتتحوّلُ إلى جنين. أما الخليةُ الذكريةُ الثانيةُ فتتحدُ بالنواتينِ القطبيتين، فتتشكَّلُ نواةٌ ثلاثيةُ المجموعةِ الكروموسومية ($3n$). بعدَ ذلك تنمو هذه النواةُ وتتحوّلُ إلى الأندوسبيرم (السويداء)، الذي يوفرُ تغذيةَ الجنين. عمليةُ الإخصابِ هذه تُسمّى **الإخصابَ المزدوج Double fertilization** الذي تتفرَّدُ به النباتاتُ الزهريةُ دونَ غيرِها.

## مراجعةُ القسم 2-10

1. ما أجزاء الزهرة الأساسية الأربع؟
2. أيُّ عمليةٍ هي نفسُها إلى حدٍّ ما، في مُغطّاةِ البذور وفي معرّاةِ البذور: بين تكوُّنِ البويضةِ وتكوُّنِ حبوبِ اللقاح؟ علِّلْ إجابتك.
3. وضّح كيفَ يتمُّ إنباتُ حبةِ اللقاح.
4. لماذا يُسمّى الإخصابُ، في النباتاتِ الزهرية، الإخصابَ المزدوج؟
5. بمَ تتشابهُ دوراتُ الحياةِ في نباتِ صنوبرٍ وفي نباتٍ زهري؟ وبمَ تختلف؟
6. **تفكيرٌ ناقد** لماذا يعتبرُ التلقيحُ، عن طريقِ وسائلَ خارجية، بمثابةِ تكيُّفٍ أكثرَ فائدةً من التلقيحِ الذاتي؟

القسم

3-10

## مؤشّرات الأداء

▲ يسمّي أنواعًا مختلفةً من الثمار.

● يقارنُ بين تركيبِ أنواعٍ مختلفةٍ من البذور.

■ يقارنُ بين إنباتِ أنواعٍ مختلفةٍ من البذور.

◆ يتعرّفُ إيجابياتِ التكاثرِ اللاجنسيِّ وسلبياتِه.

▲ يصفُ طرقَ الإكثارِ الخضريِّ الصناعي.

# التوزُّعُ والانتشار

تَنتُجُ الثمارُ والبذورُ في النباتاتِ الزهريةِ عن طريقِ التكاثرِ الجنسي. وتتكيَّفُ الثمارُ التكيُّفَ المناسبَ لنشرِ البذور، بينَما تعملُ البذورُ على انتشارِ النباتاتِ وتكاثرِها. ويمكنُ إكثارُ النباتاتِ عن طريقِ التكاثرِ اللاجنسي.

## أنواعُ الثمار

يعرِّفُ علماءُ النباتِ الثمرةَ كمبيضٍ ناضج. يوجدُ أنواعٌ عديدةٌ ومختلفةٌ من الثمار في النباتاتِ الزهرية. يبيّنُ الشكل 10-9 أمثلةً على بعضِ أنواعِ الثمار. يؤدّي الإخصابُ إلى تكوُّنِ الثمار. والثمارُ تحمي البذورَ وتساعدُ على توزُّعِها، وغالبًا ما تؤخِّرُ إنباتَها. تُصنَّفُ الثمار، بشكلٍ رئيس، بحسبِ عددِ الكرابل، أو عددِ الأزهارِ التي تكوِّنُ الثمرة، وما إذا كانت جافّةً أو لحمية. يبيّنُ الجدولُ 10-1 أنواعَ الثمار.

**الجدولُ 10-1 أنواعُ الثمار**

| النوع | الخصائص | الأمثلة |
|---|---|---|
| 1. ثمرةٌ بسيطة جافة | – مكوَّنةٌ من كربلةٍ واحدةٍ لزهرةٍ واحدة تنفتحُ عادةً عندَ النضوج<br>– تحتوي على بذرةٍ واحدةٍ لا تنفتحُ عندَ النضوج | لوبيا<br>حبةُ قمح |
| لحمية | – تحتوي على بذرةٍ واحدة<br>– تحتوي على عدةِ بذور | خوخ<br>بندورة |
| 2. ثمرةٌ متجمِّعة | – مكوَّنةٌ من عدةِ كرابلَ لزهرةٍ واحدة | توت |
| 3. ثمرةٌ مركبة | – مكوَّنةٌ من عدةِ كرابلَ لعدةِ أزهار | أناناس<br>تين |

**الشكل 10-9**
البازلاء ثمرةٌ بسيطة. وتوتُ العليق ثمرةٌ متجمِّعة. والأناناسُ ثمرةٌ مركَّبة.

## تركيبُ البذور

تشكِّلُ **البذرةُ Seed** جنينًا لنباتٍ يحيطُ به غطاءٌ واقٍ يسمّى **غلافَ البذرة Seed coat**. ويختلفُ تركيبُ البذورِ باختلافِ المجموعاتِ الرئيسةِ للنباتاتِ البذرية، وهي مُغطّاةُ البذورِ التي تشتملُ على ذواتِ الفلقةِ الواحدة، وذواتِ الفلقتين، ومُعرّاةُ

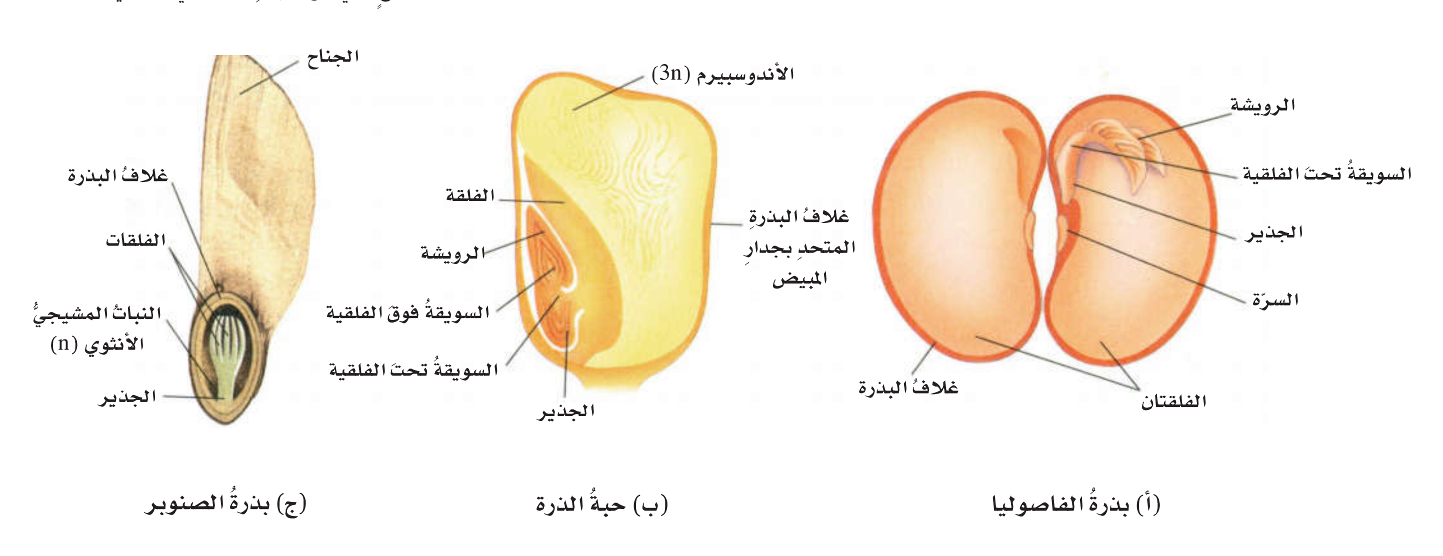
البذور. لتفهمَ بعضَ أوجهِ الاختلاف، تفحَّص البذورَ المبيّنةَ في الشكل 10-10. انظرْ بذرةَ الفاصوليا في الشكل 10-10أ، تجد فلقتين لحميتَين كبيرتَين تحتلان معظمَ داخلِها (هما ورقتا البذرة)، لذلك تعدُّ الفاصوليا من النباتاتِ ذواتِ الفلقتَين. إن بذرةَ الفاصوليا الناضجةَ لا تحتوي على الأندوسبيرم الذي امتصتهُ الفلقتان.

يوجدُ بينَ فلقتَيْ بذرةِ الفاصوليا أجزاءٌ ثلاثةٌ تكوّنُ باقيَ الجنين: **الجذير Radicle**، **والسويقةُ تحتَ الفلقية Hypocotyl**، وهي جزءٌ يقعُ بين الفلقتَين والجذير، **والسويقةُ فوقَ الفلقية Epicotyl**، وهي الجزءُ الذي يعلو الفلقتَين. تشكّلُ السويقةُ فوقَ الفلقيةِ والأوراقُ الجنينيةُ ما يسمّى **الرويشة Plumule**. وعلى طول الحافةِ المقعّرةِ للبادرةِ توجدُ **السرّة Hilum**، وهي الندبةُ التي تشيرُ إلى المكانِ الذي كانَ يثبّتُ البذرةَ في جدارِ المبيض.

تفحَّص الآنَ، حبةَ الذُرةِ في الشكل 10-10 ب. تعدُّ حبةُ الذُرةِ ثمرةً، لكن البذرةَ تحتلُّ معظمَها. وجدارُ الثمرةِ رقيقٌ للغاية، ومتحدٌ بغلافِ البذرة. لاحظْ أن لبذرةِ الذرةِ فلقةً واحدةً مضغوطةً بالأندوسبيرم. فلقةُ بذرةِ النباتِ ذاتِ الفلقةِ الواحدة، لا تخزنُ أيَّ موادَّ غذائية، إنما تمتصُّ الموادَّ الغذائيةَ من الأندوسبيرم، وتنقلُها إلى الجنين.

أخيرًا، انظرْ إلى بذرةِ الصنوبر، في الشكل 10-10 ج. تحتوي بذرةُ الصنوبرِ على جنين، وعلى ثماني فلقاتٍ إبريةِ الشكل. الجنينُ محاطٌ بنسيجٍ أُحاديِّ المجموعةِ الكروموسوميةِ يعودُ إلى النباتِ المشيجيِّ الأنثوي. كالأندوسبيرم ثلاثي المجموعةِ الكروموسوميةِ لبذورِ مغطاةِ البذور، يعملُ هذا النسيج كمصدرٍ لتغذيةِ الجنين.

**الشكل 10-10**
(أ) بذرةُ الفاصوليا لها فلقتان. وهي تفتقرُ إلى الأندوسبيرم (ب) تحتوي حبةُ الذرةِ على بذرةٍ واحدةٍ فقط ذاتِ فلقةٍ واحدة وذاتِ أندوسبيرم. (ج) بذرةُ نباتِ الصنوبرِ ذاتُ ثماني فلقات، وذاتُ نسيجٍ يأتي من النباتِ المشيجيِّ الأنثوي.




(ج) بذرةُ الصنوبر (ب) حبةُ الذرة (أ) بذرةُ الفاصوليا

# إنباتُ البذور

يتمُّ الحصولُ بسهولةٍ على كثيرٍ من النباتاتِ انطلاقًا من إنباتِ البذور. والبذرةُ، بالرغمِ من أن جنينَها حيّ، لا تنبتُ، أو تبدرُ، ما لم تتعرّضْ لظروفٍ معيّنةٍ في المحيطِ البيئي. إن تأجيلَ عمليةِ الإنبات، يؤدي إلى بقاءِ النباتِ على قيدِ الحياة. ويوجدُ كثيرٌ من البذورِ التي لا تنبتُ حتى وإن توفرَتْ ظروفٌ مثاليةٌ لعمليةِ الإنبات. أمثالُ هذه البذورِ تمرُّ في طورِ **السُّبات Dormancy**، ويكونُ معدَّلُ الأيضِ فيها منخفضًا.

## الظروفُ المطلوبةُ للإنبات

إن عواملَ المحيطِ البيئي، كالماءِ والأكسجينِ ودرجةِ الحرارة، تنبّهُ عمليةَ الإنبات. معظمُ البذورِ الناضجةِ جافةٌ للغايةِ ويجبُ أن تمتصَّ الماءَ لكي تنبت. فالماءُ يليّنُ غلافَ البذرةِ وينشّطُ الأنزيماتِ التي تحوِّلُ النشاءَ الموجودَ في الفلقاتِ أو في الأندوسبيرم إلى سكريّاتٍ بسيطة، وهذه توفرُ الطاقةَ اللازمةَ لنموِّ الجنين. حين يبدأُ الجنينُ في النموِّ ينشقُّ غلافُ البذرة، ويتمكنُ الأكسجينُ اللازمُ للتنفسِ الخلويِّ من الوصولِ إلى الجنين. ويتطلبُ إنباتُ البذورِ درجاتِ حرارةٍ تقعُ ضمنَ نطاقٍ محدَّد. والبذورُ الصغيرةُ الحجم، يحتاجُ الكثيرُ منها إلى الضوءِ للإنبات، وهذا تكيُّفٌ يعطِّلُهُ طمرُ البذورِ عميقًا جدًّا في التربة.

## عمليةُ الإنبات

في الشكل 10-11 مقارنةٌ بين إنباتِ بذورِ الذُّرةِ وبذورِ الفاصوليا. يبدأ إنباتُ البذرةِ مع ظهورِ الجُذَير. في الفاصوليا تنمو كلُّ الجذورِ انطلاقًا من الجُذَير. وفي الذُّرةِ تنمو معظمُ الجذورِ انطلاقًا من الجزءِ السفليِّ للساق. فبُعَيدَ بروزِ الجُذَيرِ خارجَ غلافِ البذرةِ تبدأُ البادرةُ في النمو.

في بعضِ البذور، كبذورِ الفاصوليا، تنحني السويقةُ تحتَ الفلقية، وتمتدُّ إلى التربةِ ثم تستقيم. هذه الاستقامةُ تسحبُ الفلقتَينِ والرويشةَ إلى الهواءِ الخارجي. تتفتَّحُ الأوراقُ الجنينيةُ للرويشة، ثم تكوِّنُ صبغَ الكلوروفيل، وتباشرُ عمليةَ البناءِ الضوئي. وبعد أن تستنفدَ بذرةُ الفاصوليا الموادَّ الغذائيةَ المخزونةَ لديها، تتقلَّصُ فلقتاها وتقعان.

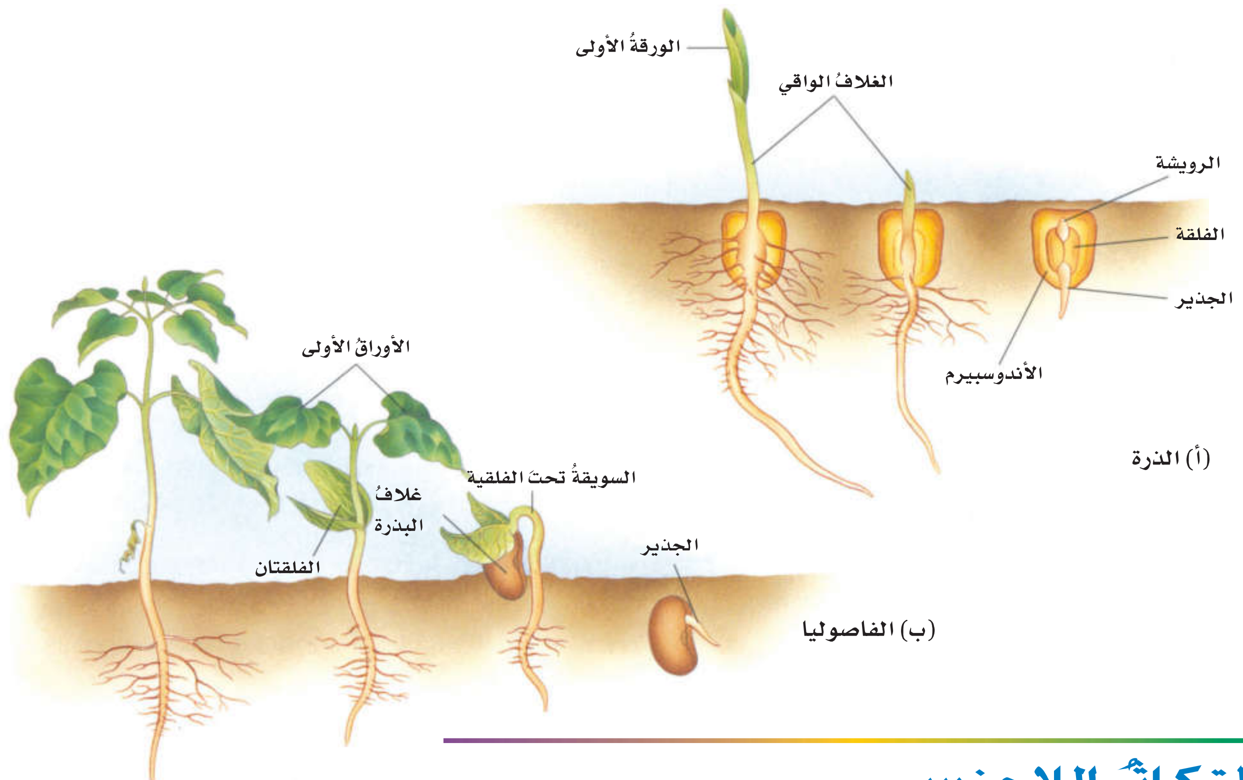
وبخلافِ ما وردَ عن بذرةِ الفاصوليا، تظلُّ فلقةُ حبةِ الذرةِ تحتَ التربة، وتنقلُ الموادَّ الغذائيةَ من الأندوسبيرم إلى الجنينِ النامي، ولا تنحني السويقةُ تحتَ الفلقيةِ ولا تستطيل، كما أن الفلقةَ تبقى مطمورةً في الأرض. وعوضًا عن ذلك، تكونُ الريشةُ، خلالَ اندفاعِها عبرَ التربة محميةً بواسطةِ غلاف. عندَما تبرزُ البادرةُ عند سطحِ الأرض، تتفتَّحُ أوراقُ الرويشة.

### جذرُ الكلمةِ وأصلُها

**السُّبات**

**dormancy**

منَ اللاتينية dormire، وتعني «ينام»




**الشكل 10-11**

(أ) خلالَ عمليةِ إنباتِ بذرةِ الذرة، يظلُّ غلافُ البذرةِ والفلقةُ تحتَ سطحِ التربة، وتكونُ الرويشةُ محميَّةً بواسطةِ غلاف. (ب) خلالَ عمليةِ إنباتِ بذرةِ الفاصوليا، يبرزُ غشاءُ البذرة، وكذلك الفلقتان، خارجَ سطحِ التربة، وتكونُ الريشةُ محميَّةً بواسطةِ السويقةِ تحتَ الفلقية.

## التكاثُر اللاجنسي

التكاثرُ اللاجنسيُّ شائعٌ في مملكةِ النبات، ويمكنُ أن يكونَ أكثرَ فائدةً للأفرادِ التي تتصفُ بتكيّفٍ جيِّدٍ مع محيطِها البيئي. بهذا التكيُّفِ يمكنُ إنتاجُ العديدِ من الأفرادِ الجددِ في فترةٍ زمنيةٍ قصيرة، مما يمكِّنُ الكائناتِ من الانتشارِ السريع، لكنَّ هناك خاصةً سلبيةً للتكاثرِ اللاجنسي هي الافتقارُ إلى التنوّعِ الوراثي. هذا الافتقارُ يجعلُ أفرادَ السلالةِ الجديدةِ على تطابقٍ من الناحيةِ الوراثية، ويجعلُها عرضةً لغزوِ الحيواناتِ الضارةِ نفسِها، وللإصابةِ بالأمراضِ نفسِها.

في الطبيعةِ تتكاثرُ النباتاتُ بطريقةٍ لاجنسيةٍ وبأساليبَ متنوعة. يبيِّنُ الشكل 10-12 أحدَ أنواعِ التكاثرِ اللاجنسي. والتكاثرُ الذي يتمُّ عادةً عبرَ أجزاءٍ غيرِ تكاثرية، كالأوراقِ أو السوقِ أو الجذور، يسمّى الإكثارَ الخضري. يوردُ الجدول 10-2 بعضَ تلكَ التراكيب.

**الجـدولُ 10-2 التراكيبُ النباتيةُ المُتكيِّفةُ مع التكاثرِ الخضري**

| الاسم | الوصف | الأمثلة |
|---|---|---|
| السوقُ الجارية | أفقي، ساقٌ فوقَ سطحِ التربة، تنتجُ أوراقًا وجذورًا عند عُقَدِها. يمكنُ لنباتٍ جديدٍ أن ينموَ انطلاقًا من كلِّ عقدة. | الفراولة |
| الرايزومات | أفقي، ساقٌ تحتَ سطحِ التربة، تُنتجُ أوراقًا وجذورًا انطلاقًا من عُقَدِه. يمكنُ لنباتٍ جديدٍ أن ينمو انطلاقًا من كلِّ عقدة. | السرخسيات، السوسن، الزنجبيل، قصبُ السكّر |
| الأبصال | قصيرةٌ جدًّا، ساقٌ تحتَ سطحِ التربة، لنباتٍ ذي فلقةٍ واحدة، وأوراقٍ لَحميَّةٍ طرية، تتكيَّفُ مع عمليةِ التخزين. تنقسمُ الأبصالُ طبيعيًّا لتنتجَ نباتاتٍ جديدة. | التوليب، البصل، الثوم، النرجسُ البرِّيّ |
| الدرنات | جوفي، سوقٌ منتفخةٌ تحتَ سطحِ التربة، متخصصةٌ في التخزين. يمكنُ للبراعمِ عندَ الدرناتِ أن تنموَ لتصبحَ نباتاتٍ جديدة. | البطاطس |
| الفسائل | نباتٌ صغيرٌ ينمو انطلاقًا من برعمٍ جانبيٍّ على الساقِ الأصليةِ تحتَ سطحِ التربة. | النخيل، الموز |

# الإكثارُ الخُضَريُّ الصناعيّ

غالبًا ما يستخدمُ الإنسانُ التراكيبَ الخُضَرية في عمليةِ انتشارِ النباتات. ويسمّى استخدامُ التراكيبِ الخضريةِ، كالسوقِ والأبصالِ والبراعم، لإنتاجِ نباتاتٍ جديدة، **الإكثارَ الخضريّ Vegetative propagation**. تشتملُ هذه الطرقُ على التعقيل والترقيدِ والتطعيمِ وزراعةِ الأنسجة.

الشكل 12-10

يُنتِجُ هذا النباتُ نباتاتٍ جديدةً انطلاقًا من السوقِ الجارية. يمكنُ أخذُ كلِّ نباتٍ جديدٍ موجودٍ عندَ السوق، ووضعُهُ في كوبٍ من الماءِ كي تنموَ له جذور. وهذا مثالٌ للإكثارِ الخضري.

## التعقيل

في بعضِ النباتات تتكوّنُ الجذورُ انطلاقًا من قطعةٍ من الساق، أو تتكوّنُ بادراتٌ نباتيةٌ انطلاقًا من قطعةٍ من الجذر. إن قِطَعَ السوقِ والجذورِ التي تؤخذُ من نباتٍ وتستخدمُ لإنتاجِ نباتاتٍ جديدةٍ تسمّى **العُقَل Cuttings**. تُستخدمُ العقلُ النباتيةُ بشكلٍ واسعٍ لتوفيرِ انتشارِ النباتاتِ المنزلية، وأشجارِ وشجيراتِ الزينة، والنباتاتِ التي تُعطي محاصيلَ الفاكهة، كالعنبِ والتينِ والزيتون.

## الترقيد

بعضُ أنواعِ النباتات، كالعنب، تكوّنُ جذورًا عند سوقِها التي تلامسُ التربة. وغالبًا ما يقومُ الإنسانُ بطمرِ السوقِ بالترابِ لتوفيرِ انتشارِ مثلِ هذه النباتات. إن عمليةَ تكوينِ الجذورِ انطلاقًا من الساقِ تسمّى **الترقيد Layering**.

## التطعيم

**التطعيمُ Grafting** هو دمجُ جزءَين نباتيين أو أكثرَ، ليُشكّلا نباتًا واحدًا. في عمليةِ التطعيم يتمُّ تثبيتُ برعمٍ أو ساقٍ صغيرةٍ لنباتٍ إلى جذورٍ أو سوقِ نباتٍ ثانٍ. يجبُ أن ينطبقَ الكمبيومُ الوعائيُّ للجزءَيْن كي تنجحَ عمليةُ التطعيم. يمكّنُ التطعيمُ من اتحادِ جميعِ الصفاتِ المرغوبِ فيها للنباتينِ المزروعين. فعلى سبيلِ المثال، نباتُ التفاحِ الذي يُنتِجُ الثمرَ الممتاز، قابلٌ لأن يطعَّمَ بجذورِ نباتِ تفاحٍ مقاومٍ للأمراض. تساهمُ عمليةُ التطعيمِ في انتشارِ النباتاتِ المثمرةِ والأشجارِ الجوزيةِ كلِّها، والعديدِ من أشجارِ وشجيراتِ الزينة.



الشكل 13-10

يمكنُ استخدامُ طريقةِ زرعِ النسيجِ لإنتاجِ نباتِ الندى الشمسي *Drosera rotundifolia* ذي الأوراقِ الدائرية. يشكلُ الجلي، في طبقٍ بتري، بديلاً لترابٍ معقّم، لأنه يحتوي على الموادّ الغذائيةِ المطلوبة.

## زراعةُ الأنسجة

الشكل 13-10 يبيّنُ نباتاتٍ نتجتْ عن طريقِ **زرعِ النسيج Tissue culture**، وهو عمليةُ إنتاجِ نباتاتٍ جديدةٍ من وضعِ قطعٍ من النسيجِ في مادةِ زرعٍ معقّمةٍ تحتوي على موادَّ غذائية. ويمكنُ إنتاجُ ملايينَ من النباتاتِ المتطابقة، من جزءٍ ضئيلٍ من النسيج. تستخدمُ هذه الطريقةُ في الإنتاجِ التجاريِّ للسحلبيات، والنباتاتِ المنزلية، والنباتاتِ المعدّةِ لإنتاجِ الأزهار، والنباتاتِ المعدّةِ لإنتاجِ الثمار، وأشجارِ وشجيراتِ الزينة، والنباتاتِ غيرِ الخشبية.

## مراجعةُ القسم 3-10

1. اذكرْ ثلاثةَ أنواعٍ مختلفةٍ من الثمار، وأعطِ مثالاً على كلٍّ منها.
2. اذكرْ ثلاثَ طرقٍ شائعةٍ لتوفيرِ توزّعِ الثمارِ والبذور، وأعطِ مثالاً على كلٍّ منها.
3. فيمَ يختلفُ تركيبُ بذرةِ الفاصوليا وإنباتُها، عن تركيبِ بذرةِ الذرةِ وإنباتِها؟
4. قارنْ بينَ التكاثرِ اللاجنسيِّ والتكاثرِ الجنسيِّ في النبات.
5. ضعْ جدولاً للمقارنةِ بين التراكيبِ والطرقِ المستخدمةِ في الإكثارِ الخضريِّ للنباتات.
6. **تفكيرٌ ناقد** لماذا يعدُّ السُّباتُ في البذورِ صفةً إيجابيةً للنبات؟

# مراجعةُ الفصل 10

## ملخّص / مفردات

**1-10** ■ للنباتاتِ دورةُ حياةٍ تسمّى تعاقبَ الأجيال، يتعاقبُ فيها طَوران، طورٌ مشيجيٌّ عديدُ الخلايا وأُحاديُّ المجموعةِ الكروموسومية، وطَورٌ بَوغيٌّ عديدُ الخلايا وثُنائيُّ المجموعةِ الكروموسومية.

■ خلالَ دورةِ حياةِ الحزازيات، يتحولُ البوغُ إلى نباتٍ مشيجيٍّ أخضرَ مورق، يُنتِجُ بُويضاتٍ في الأركيكونة، والنطف في الأنثريدة. ينشأُ النباتُ البَوغيُّ للنباتِ الحزازيِّ عن نباتٍ مشيجي، ويعتمدُ عليهِ في غذائِه.

■ خلالَ دورةِ حياةِ السرخس، يتحوَّلُ البَوغُ إلى نباتٍ مشيجيٍّ صغيرٍ مسطَّحٍ ينتجُ بُويضاتٍ في الأركيكونة والنطف، في الأنثريدة. ينشأُ النباتُ البَوغيُّ عن نباتٍ مشيجي،إلاّ أنه يتلاشى في مرحلةٍ لاحقة، ولا يعتمدُ على النباتِ المشيجيِّ في غذائِه.

■ تتصفُ دورةُ حياةِ النباتِ الصنوبري، بنباتٍ مشيجيٍّ ذكري (هو حبةُ اللقاح) وبخليةٍ ذكرية. تصلُ الخليةُ الذكريةُ إلى البويضةِ عبرَ أنبوبِ اللقاحِ الذي ينمو، إلى أن يدخلَ إلى النباتِ المشيجيِّ الأنثوي.

**مفردات**

- الأركيكونة Archegonium (149)
- أنبوبُ لقاح Pollen tube (152)
- الأنثريدة Antheridium (149)
- البثرة Sorus (150)
- البوغ Spore (150)
- البوغُ الأنثويُّ الضخم Megaspore (151)
- البوغُ الذكريُّ الدقيق Microspore (151)
- البويضة Ovule (152)
- حبةُ اللقاح Pollen grain (152)
- الغلاف Integument (151)
- فتحةُ النقير Micropyle (152)
- المحفظةُ البوغيةُ الأنثويةُ الضخمة Megasporangium (151)
- المحفظةُ البوغيةُ الذكريةُ الدقيقة Microsporangium (152)
- النباتُ المشيجيُّ الأنثويُّ الضخم Megagametophyte (151)
- النباتُ المشيجيُّ الذكريُّ الدقيق Microgametophyte (152)

**2-10** ■ الأزهارُ تراكيبُ تكاثريةٌ في مُغطّاةِ البذور. تتكونُ معظمُ الأزهارِ المألوفةِ، من أربعةِ محيطاتٍ من الأجزاءِ هي: الأوراق الكأسية الواقية، والأوراق التويجية الملونة، الأسديةُ التي تنتجُ حبوبَ اللقاح، والكرابلُ التي تحتوي على خلايا البُيوض.

■ يتصفُ العديدُ من النباتاتِ الزهرية، بأزهارٍ متكيفةٍ مع التلقيحِ بواسطةِ الحيواناتِ أو الرياح.

■ في مُغطّاةِ البذور، يتمثلُ النباتُ المشيجيُّ الأنثويُّ بكيسٍ جنيني، في داخلِه ثماني أنوية، وهو موجودٌ داخلَ البُويضة.

■ الإخصابُ المزدوجُ خاصةٌ فريدة في مُغطّاةِ البذور. فهناك خليّتان ذكريتان تصلان إلى الكيس الجنيني، عبرَ أنبوبِ اللقاح. فتتحدُ خليةٌ ذكريةٌ واحدةٌ بخليةِ البيضةِ لتكوّنَ اللاقحة. أما الخليةُ الذكريةُ الأخرى فتتحدُ بنواتينِ قطبيتين، ليتكوَّنَ نسيجٌ غذائيٌّ ثلاثيُّ المجموعةِ الكروموسومية هو الأندوسبيرم.

**مفردات**

- الإخصابُ المزدوج Double fertilization (157)
- الأوراقُ التويجية Petal (153)
- التخت Receptacle (153)
- الخليةُ الأنبوبية Tube cell (155)
- الخليةُ البوغيةُ الأنثويةُ الأُم Megaspore mother cell (154)
- الخليةُ البوغيةُ الذكريةُ الأُم Microspore mother cell (155)
- الخليةُ المولِّدة Generative cell (155)
- الخيط Filament (153)
- الأوراقُ الكأسية Sepal (153)
- السداة Stamen (153)
- القلم Style (153)
- الكربلة Carpel (153)
- الكيسُ الجنيني Embryo sac (154)
- المدقة Pistil (153)
- المتك Anther (153)
- الميسم Stigma (153)
- النواتانِ القطبيتان Polar nuclei (154)

**3-10** ■ توجدُ بذورُ مُغطّاةِ البذورِ داخلَ الثمارِ التي تحمي البذور، وتساهمُ في الانتشار.

■ تحتاجُ البذورُ إلى الماءِ والأكسجين ودرجاتِ حرارةٍ مؤاتية، وإلى الضوءِ أحيانًا، لكي تنبت.

■ يُمكِّنُ التكاثرُ اللاجنسيُّ النباتاتِ من الانتشارِ السريع، في المحيطِ البيئيِّ المناسب.

■ تتكاثرُ النباتاتُ بالإكثارِ الخضري، عبرَ تراكيبَ متخصِّصة، كالأبصالِ والسوقِ والدرناتِ والفسائل.

■ يوفِّرُ الإنسانُ انتشارَ النباتات، بطريقةٍ لاجنسية، عن طريقِ التعقيلِ والترقيدِ والتطعيمِ وزراعةِ الأنسجة.

**مفردات**

- الإكثارُ الخُضَريّ Vegetative propagation (162)
- البذرة Seed (158)
- الترقيد Layering (162)
- التطعيم Grafting (162)
- التعقيل Cutting (162)
- الجُذَير Radicle (159)
- الرويشة Plumule (159)
- زراعةُ النسيج Tissue culture (162)
- السُّبات Dormancy (160)
- السرَة Hilum (159)
- السويقةُ تحت الفلقة Hypocotyl (159)
- السويقةُ فوق الفلقة Epicotyl (159)
- غلافُ البذرة Seed coat (158)

# مراجعة

## مفردات

1. ما العلاقةُ بين البَوغِ الأنثويِّ الضخمِ ومحفظةِ الأبواغِ الأنثويةِ الضخمة؟
2. وضِّحْ أوجهَ الاختلافِ بين النباتِ المشيجيِّ والنباتِ البَوغي.
3. اذكرْ ثلاثةَ أوجهِ تشابُهٍ بين البُويضةِ والمبيض.

## اختيارٌ من متعدِّد

4. تُنتجُ النطفُ لنباتِ الحزازِ في (أ) الأنثريدة (ب) المتك (ج) الأركيكونة (د) المحافظِ البوغية.
5. في حبوبِ اللقاحِ تكوِّنُ الخلايا المولِّدةُ (أ) النواتين القطبيتين (ب) الخليتان الذكريتان (ج) السويقةَ تحت الفلقية (د) الأندوسبيرم.
6. أغلفةُ البويضةِ تنقطعُ عن طريقِ (أ) البَوغِ الأنثوي (ب) فتحةِ النقير (ج) السُّرّة (د) الأسدية.
7. يتكوّنُ المتاعُ في الزهرةِ من (أ) الأقلام (ب) المبايض (ج) الكرابل (د) المتوك.
8. تتحوَّلُ الأبواغُ الذكريةُ في المتكِ إلى (أ) أبواغٍ أنثوية (ب) حبوبِ لقاح (ج) بويضات (د) خلايا ذكرية.
9. يحدثُ التلقيحُ عندَما (أ) تتحدُ حبةُ لقاحٍ بخليةِ البيضة (ب) تبتلعُ الحشراتُ رحيقَ الزهر (ج) يغادرُ البَوغُ المحفظةَ البوغية (د) تقعُ حبوبُ اللقاحِ على الميسم.
10. أيٌّ من المفرداتِ التاليةِ ينطبقُ على مُغطّاةِ البذور، و**لا** ينطبقُ على مُعرّاةِ البذور؟ (أ) الأغلفة (ب) حبوبُ اللقاح (ج) البذرة (د) الإخصابُ المزدوج.
11. السويقةُ فوقَ الفلقية، في بذرةٍ ذاتِ فلقتَين هي جزءٌ من (أ) السرّة (ب) السويقة تحتَ الفلقية (ج) الرويشة (د) الفلقة.
12. يحدثُ التكاثرُ اللاجنسيُّ في النباتاتِ من خلالِ الطرقِ التاليةِ **عدا** واحدةٍ هي (أ) اتحادُ الخلايا الذكريةِ بالبويضات (ب) تكوّنُ نباتاتٍ جديدةٍ انطلاقًا من السُوقِ الجارية (ج) تكوّنُ نباتاتٍ جديدةٍ بما ينتجهُ النباتُ من أبصال (د) تنتجُ النباتاتُ الجديدة، عبرَ زراعةِ الأنسجة.
13. الأسلوبُ الظاهرُ في الصورةِ الفوتوغرافيةِ يسمّى (أ) التطعيم (ب) التعقيل (ج) زراعةَ الأنسجة (د) الترقيد.



## إجابةٌ قصيرة

14. ما وجها الاختلافِ المهمّان بينَ دورةِ حياةِ سرخسٍ نموذجي، ودورةِ حياةِ نباتٍ بذري.
15. كيف تتمُّ عمليةُ الإخصاب، في النباتاتِ الزهرية.
16. كيف تختلفُ عمليةُ الإخصابِ في النباتاتِ الصنوبرية، عن مثيلها، في النباتاتِ الزهرية.
17. اذكرْ ثلاثةَ أنواعٍ من طرقِ انتشارِ البذور، وأعطِ مثالاً على كلٍّ منها.
18. في الكثيرِ من البذور، تنحني السويقةُ فوقَ الفلقية، أثناء بروزِ الجنينِ إلى خارجِ البذرة. ما الفائدةُ من هذا الانحناء؟
19. قارنْ بينَ التكاثرِ اللاجنسيِّ والتكاثرِ الجنسيِّ من حيث الإيجابياتُ والسلبياتُ فيهما.
20. صفْ طرقًا للإكثارِ الخضريِّ في النبات.

## تفكيرٌ ناقد



1. يقعُ الميسمُ، في كثيرٍ من الأزهارِ ذاتِ الأسديةِ والكرابلِ معًا، فوقَ المتوكِ بكثير. ما قيمةُ مثلِ هذا الترتيبِ وما أهميتُه؟
2. إثرَ حدوثِ التلقيحِ الذاتي، في بعضِ النباتات، يموتُ أنبوبُ اللقاحِ قبلَ وصولِه إلى البويضة. ما مغزى هذا الحدث؟
3. لماذا تمثِّلُ الثمارُ والبذورُ مصدرَ طعامٍ مغذٍّ للإنسانِ وبعضِ الحيوانات؟ ما الفائدةُ من ذلك للنباتات؟
4. لماذا تتصفُ الثمارُ اللحميةُ، عادةً، ببذورٍ تحيطُ بها أغلفةٌ صلبة؟
5. لو أنك اكتشفتَ وردةً من نوعٍ جديد، هل كنتَ تستخدمُ البذورَ أو الأجزاءَ الخضريةَ منها لتوفيرِ انتشارِ الوردة، وإنتاجِ أعدادٍ كبيرةٍ منها مطابقة؟ علّلْ إجابتك.
6. في الصورةِ الفوتوغرافيةِ المحاذية، يتمثلُ النباتُ المنزليُّ من جهةِ اليسار، بالنبات *Sansevieria trifasciata*، ذي الأوراقِ الصفراءِ الحافة. يمكنُ استخدامُ قطعةٍ أو جزءٍ من ورقةٍ من هذا النباتِ لإنتاجِ نباتاتٍ جديدة. إلاّ أن ما هو ظاهرٌ إلى اليمينِ من الصورةِ الفوتوغرافية، هو أن نباتاتٍ جديدةً وذاتَ أوراقٍ خضراءَ بالكاملِ دونَ حافةٍ صفراءِ اللون، سوف تتكوّن. كيف تفسِّر ذلك؟

## توسيعُ آفاقِ التفكير

1. اشترِ جذرَ زنجبيل بطولِ خمسةِ سنتيمترات، أو قطعةً أطول. تفحّصْ بدقة، وتحقّقْ من أنهُ جذرٌ بالفعل. ازرعْهُ على عمقِ سنتيمترٍ واحدٍ تقريبًا من سطحِ وعاءٍ يحتوي على ترابٍ مُعدٍّ لزرعِ النبات، وأحفظهُ رطبًا عن طريقِ ريّه، وضعْهُ في مكانٍ مضيء. صفْ ما يحدثُ في فترةِ شهرَين.
2. قُمْ بزيارةٍ لمزرعةِ أشجار، مُعدّةٍ للتصدير، وابحثْ في كيفيّةِ تأمينِ انتشارِ هذه الأشجارِ وتلقيحِها.

# الفصلُ 11

# استجاباتُ النبات



تنبتُ أشجارُ السروِ الأقرعِ المونتيزوما Taxodium mucronatum، ذاتُ الجذورِ المتشابكة، على امتدادِ ضفافِ نهر ريو كوشوجاكي *Rio Cuchujaqui*، في المنطقةِ الجنوبيةِ من ولايةِ سونورا المكسيكية.

1-11 الهرموناتُ النباتيةُ وحركةُ النبات

2-11 الاستجاباتُ الفصلية

**المفهومُ الرئيس:** الاستجابة

لاحظْ، وأنتَ تقرأُ، كيفَ تستجيبُ النباتاتُ لمحيطِها البيئي، وللهرمونات. إن استجاباتِ النباتِ لظروفِ محيطِهِ البيئيّ تحقّقُ فوائدَ تكيُّفيّة.

القسم

1-11

مؤشراتُ الأداء

▲ يذكرُ الأنواعَ الخمسةَ الرئيسةَ للهرموناتِ النباتية، ويعطي أمثلةً على بعضِ تأثيراتِ كلٍّ منها.

● يذكرُ المحفِّزاتِ التي تستجيبُ لها النباتاتُ في المحيطِ البيئي، والانتحاءَ العائدَ إلى كلِّ محفِّز.

■ يوضحُ آليةَ عمل الأكسيناتِ ووظيفتها في مجالِ الانتحاءِ الضوئيِّ والانتحاءِ الأرضي.

# الهرموناتُ النباتيةُ وحركةُ النبات

يتأثرُ نموُّ النباتِ وتكوُّنُه بعواملَ وراثية، وبعواملِ المحيطِ البيئيِّ الخارجية، وبموادَّ كيميائيةٍ داخلَ النبات. وتستجيبُ النباتاتُ لعواملَ عديدةٍ في المحيطِ البيئي، كالضوءِ والجاذبيةِ والماءِ والموادِّ الغذائيةِ غيرِ العضويةِ ودرجةِ الحرارة.

## مجموعاتُ الهرمونات

**الهرمونات Hormones** النباتيةُ هي بمثابةِ رُسلٍ كيميائية، تؤثِّرُ في قدرةِ النباتِ على الاستجابةِ لمحيطِه البيئي. وهي مركَّباتٌ عضويةٌ فاعلةٌ عندَ درجاتِ تركيزٍ متدنية. يتمُّ بناؤها، عادةً، في جزءٍ من النبات، ثم تُنقل إلى موقعٍ آخر. وهي تتفاعلُ مع الأنسجةِ المستهدفة، لتسببَ استجاباتٍ وظيفيةً، كالنموِّ أو نضجِ الثمار. وغالبًا ما تكونُ كلُّ استجابةٍ، نتيجةً لهرمونَين، أو عدةِ هرموناتٍ تعملُ معًا.

وبما أن الهرموناتِ تنشِّطُ نموَّ النباتِ أو توقفَه، فإن العديدَ من علماءِ النباتِ يسمونَها **منظِّماتِ نموِّ Growth regulators** النبات. يمكنُ صنعُ العديدِ من الهرموناتِ في المختبر، مما يزيدُ من كميةِ الهرموناتِ المتوفرةِ للتطبيقات. هناك خمسةُ أنواعٍ رئيسةٍ من الهرموناتِ النباتية، هي: الأكسينات، الجبريلينات، الإيثيلين، السايتوكينينات، حمضُ الأبسيسك. تفحّصِ الجدول 1-11، لتعرفَ أنواعَ الهرموناتِ النباتية، ووظائفَها وأماكنَ إنتاجِها.

## الانتحاءات

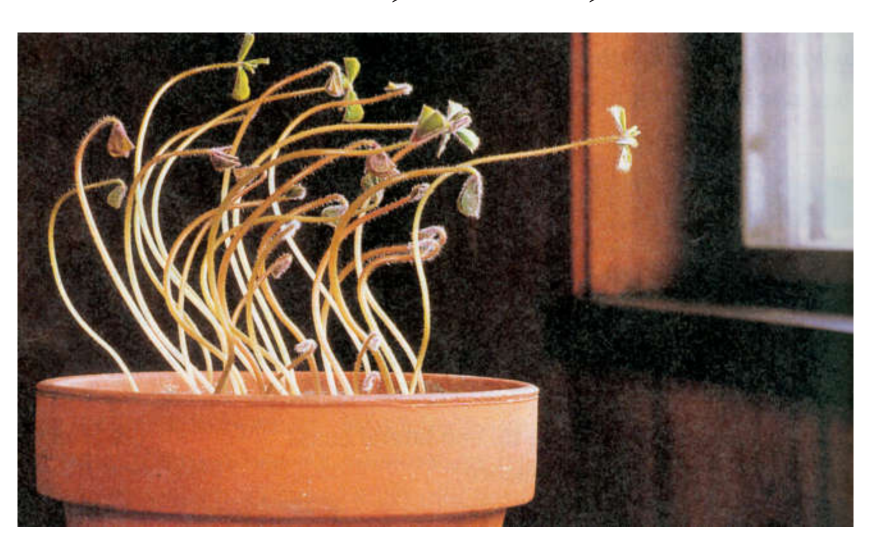
**الانتحاء Tropism**، هو حركةُ النباتاتِ في اتجاهٍ ما استجابةً لمحفِّزٍ في المحيطِ البيئي. يسمى التحرُّكُ في اتّجاهِ المحفِّزِ في المحيطِ البيئيِّ انتحاءً موجبًا. ويسمّى التحركُ بعيدًا عن المؤثِّرِ في المحيطِ البيئيِّ انتحاءً سالبًا. كلُّ نوعٍ من الانتحاءِ يسمّى باسمِ المحفِّز. فعلى سبيلِ المثال، يسمّى تحرُّكُ النباتِ استجابةً للضوءِ **الانتحاءَ الضوئي Phototropism**. لاحظْ، في الشكل 1-11, كيف تنمو البادراتُ في اتجاهِ مصدرِ الضوء، إنها ذاتُ انتحاءٍ ضوئيٍّ موجب. الأنواعُ المختلفةُ من الانتحاءاتِ ملخَّصةٌ في الجدول 11-2.

## الجدولُ 11-1 المجموعاتُ الخمسُ للهرموناتِ النباتية

| الهرمونُ النباتي | الوظيفة | السمات | الأمثلة |
|---|---|---|---|
| الأكسينات Auxins | • تنشّطُ النموَّ الخلوي<br>• تنشّطُ تكوُّنَ الجذورِ عندَ السوقِ والعقلِ النباتيةِ الورقية<br>• **تنشّطُ سيادةَ القمةِ النامية** **Apical dominance** (تمنعُ نموَّ البرعمِ الجانبي)<br>• تزيدُ من عددِ الثمار<br>• تمنعُ سقوطَ الثمر<br>• تمنعُ حدوثَ إنباتِ البطاطسِ والبصلِ المخزون | • يتمُّ إنتاجُها في المواضعِ الناميةِ من النباتات (رأسِ البادرةِ النباتية، الأوراقِ الفتية، الثمرِ النامي)<br>• دورٌ مهمٌّ في الانتحاء | • **أندول حمض الأسيتيك** **Indoleacetic Acid** (طبيعي)<br>• **نفثالين حمض الأسيتيك** **Naphthalene Acetic Acid** (صناعي)<br>• مبيداتُ الأعشاب 2,4 -D والعاملُ البرتقالي (صناعي) |
| الجبريلينات Gibberellins | • تنشّطُ النموَّ بالاستطالة<br>• تنشّطُ الإنباتَ ونموَّ البادرة<br>• تزيدُ من حجمِ الثمار<br>• تتغلبُ على سُباتِ البرعم<br>• تنشّطُ عملياتِ الإزهارِ ونموِّ الثمار | • يتمُّ إنتاجُها في كلِّ أجزاءِ النباتِ النامية، وخصوصًا في البذورِ غيرِ الناضجة | • جبريلين 3 (طبيعي) |
| الإيثيلين Ethylene | • يحفزُ نضجَ الثمار<br>• تنشيط إنتاج الأزهارَ في نباتاتِ المانجا والأناناس<br>• تنشيط سقوط الأوراقَ المسنّة والثمار | • يتمُّ إنتاجُه في الثمارِ والأوراقِ والأزهارِ والجذور<br>• غازٌ لا لونَ له | • **الأيثيفون Ethephon** (صناعي) يتفكّكُ ويطلقُ الإيثيلينُ (طبيعي) |
| السايتوكينينات Cytokinins | • تنشّطُ الانقسامَ الخلوي<br>• تنشّطُ نموَّ البرعمِ الجانبيِّ في النباتاتِ ذواتِ الفلقتين | • تُنتَجُ في الجذورِ والثمارِ والبذورِ النامية<br>• نسبةُ الأكسين إلى السايتوكينين مهمة في تكوين الجذور | • الزياتين (طبيعي)<br>• الكينيتين (صناعي)<br>• البنزيل أدينين (صناعي) |
| حمض الأبسيسك Abscisic Acid | • ينشّطُ إغلاقَ الثغور<br>• يحفّزُ السُّبات<br>• يمنعُ نشاطَ هرموناتٍ أخرى<br>• يوقفُ عمليةَ النمو | • يتمُّ إنتاجُهُ في الأوراق<br>• عمليةُ صنعِهِ باهظةُ الثمن | • حمضُ الأبسيسك (طبيعي أو صناعي) |

## الانتحاءُ الضوئي

يظهرُ الانتحاءُ الضوئيُّ في الصورةِ من خلالِ تحرُّكِ البادراتِ، الشكل 11-1. يتسببُ الضوءُ في انتقالِ الأكسينِ إلى الجانبِ المظلَّلِ من البادرة. والأكسينُ يجعلُ الخلايا،



**الشكل 11-1**

الطريقةُ التي تنمو بها بادراتُ نباتٍ مزهرٍ في اتجاهِ الضوء، تشكّلُ مثالاً على الانتحاءِ الضوئيِّ الموجب، حيث يقومُ الأكسينُ بتنشيطِ الخلايا في الجانبِ المظلّلِ من ساقِ النباتِ كي تستطيل.

## الجدولُ 2-11 انتحاءاتٌ نباتيةٌ متنوعة

| الانتحاء | المحفِّز | مثالٌ موجب |
|---|---|---|
| الانتحاءُ الضوئي | الضوء | يميلُ النباتُ في اتجاهِ الضوء |
| الانتحاءُ اللمسي | ملامسة جسمٍ ما | تلتفُّ النباتاتُ المتسلقةُ حول الشجرة |
| الانتحاءُ الأرضي | الجاذبية | تنمو الجذورُ إلى أسفل |
| الانتحاءُ الكيميائي | مادةٌ كيميائية | ينمو أنبوبُ اللقاحِ في اتجاهِ البويضة |

في الجانبِ المظلّل، تستطيلُ أكثرَ من الخلايا الموجودةِ في الجانبِ المضاء. نتيجةً لذلك تنحني البادرةُ في اتجاهِ الضوء، فتحقّقُ انتحاءً ضوئيًّا موجبًا. ولا ينتجُ في سوقِ بعضِ النباتِ، الانتحاءُ الضوئيُّ عن تحرُّكِ الأكسين. في هذه الحالاتِ، يتسببُ الضوءُ في إنتاجِ مادةٍ مانعةٍ للنمو، في الجانبِ المضاء.

### الانتحاءُ اللمسي

**الانتحاءُ اللمسي Thigmotropism** هو نموُّ النباتِ استجابةً لملامسةِ جسمٍ صلب. إن محاليقَ نباتٍ متسلقٍ كالعنب، وسوقَه، تلتفّانِ عندما تلامسانِ جسمًا ما. ويسمحُ الانتحاءُ اللمسي، لبعضِ النباتاتِ المتسلِّقة، بأن تتسلقَ نباتاتٍ أو أجسامًا أخرى، مما يزيدُ من فرصِ تعرُّضِها للضوء، تحقيقًا للبناءِ الضوئي، الشكل 2-11. وهناك اعتقادٌ بأن الهرمونَيْن: الأكسين والإيثيلين، يلعبانِ دورًا مهمًّا في هذه الاستجابة.



**الشكل 2-11**
نباتُ اللوبيا هذا يُظهرُ انتحاءً لمسيًّا، فيلتفُّ حولَ العمودِ حينَ يلمسُه، ويساعدُهُ ذلك على التسلقِ والتعرضِ لكميةٍ أكبرَ من الضوء.

## نشاطٌ عمليٌّ سريع

### مشاهدةُ الانتحاءِ الضوئي

**الموادّ** وعاءانِ للزرعِ بارتفاعِ 5 cm، يحتويانِ على تراب، 4 بذورٍ من الفاصوليا، علبةٌ من الورقِ المقوّى.

**الإجراء**

1. ازرعْ بذرتَين من بذورِ الفاصوليا في كلِّ وعاء. ضعْ تسميةً خاصةً على كلِّ وعاءٍ يشيرُ إلى مجموعتِك. ضعْ وعاءً واحدًا عندَ النافذةِ أو تحتَ ضوءٍ مخصصٍ للنبات.
2. افتحْ نافذةً مستطيلةً في العلبة، وضعِ العلبةَ على الوعاءِ الثاني بحيثُ تكونُ النافذةُ في مواجهةِ الضوء. ضعِ العلبةَ في موقعٍ آخر، يختلفُ عن موقعِ الوعاءِ المكشوف. حافظْ على رطوبةِ الترابِ في الوعاءَينِ لعدةِ أيام.
3. بعدَ يومينِ أو ثلاثة من ظهورِ النباتاتِ الجديدةِ النابتةِ في التراب، انزعِ العلبة. قارنْ بينَ البادراتِ التي نمتْ في الضوءِ والنباتاتِ التي نمتْ في العلبة. ضعْ رسمًا أوليًّا يجسِّدُ ملاحظاتِك.

**التحليل** ما الاختلافُ بينَ البادرات؟ ما سببُ هذا الاختلاف في رأيك؟ صفْ، من وجهةِ نظرِك، ما يحدُثُ للخلايا الموجودةِ داخلَ الجزءِ المنحني من الساق، ونفِّذْ رسمًا لذلك.

### جذرُ الكلمةِ وأصلُها

**الانتحاءُ اللمسي**
**thigmotropism**
منَ اللاتينية thiga، وتعني «اللمس».
و tropos، وتعني «يدور»

## الانتحاءُ الأرضي

**الانتحاءُ الأرضيُّ Geotropism** (أو Gravitropism) هو، عادةً، استجابةُ النموّ في النباتِ للجاذبية، حيث ينمو الجذرُ في اتجاهٍ سُفلي، وتنمو الساقُ في اتجاهٍ رأسيٍّ علوي. ويعني ذلك أن الجذورَ ذاتُ انتحاءٍ موجبٍ مع الجاذبية، والسوقَ ذاتُ انتحاءٍ سالبٍ مع الجاذبية.

ويخضعُ الانتحاءُ الأرضي، كالانتحاءِ الضوئي، للضبطِ والتنظيمِ بواسطةِ الأكسينات. تقولُ إحدى الفرضيات: عند وضعِ بادرةٍ بشكلٍ أفقيٍّ، تتراكمُ الأكسيناتُ على طولِ الجوانبِ السُّفليةِ لكلٍّ من الجذورِ والسوق. ينشّطُ تركيزُ الأكسيناتِ استطالةَ الخلايا على طولِ الجانبِ السُّفليِّ للساق، فتنمو الساقُ في اتجاهٍ عُلوي. يمنعُ تركيزُ الأكسيناتِ استطالةَ الخلايا عند الجانبِ السُفليِّ للجذر، فينمو الجذرُ في اتجاهٍ سُفلي، على النحوِ الظاهرِ في الشكل 11-3.

## الانتحاءُ الكيميائي

إن نموَّ النباتِ استجابةً لمادةٍ كيميائيةٍ يسمّى **الانتحاءَ الكيميائي Chemotropism**. بعدَ عمليةِ تلقيحِ الزهرة، ينمو أنبوبُ اللّقاحِ في اتجاهٍ سُفليٍّ عبرَ الميسمِ والقلم، فيدخلُ البويضةَ من خلالِ فتحةِ النقير. إن نموَّ أنبوبِ اللّقاح، استجابةً للموادِّ الكيميائيةِ التي تنتجُها البويضة، هو مثالٌ على الانتحاءِ الكيميائي.



**الشكل 11-3**
التقطتْ هذه الصورةُ بعد سبعةِ أيامٍ من وضعِ قِطعِ نباتٍ بوصي *Zebrina pendula* في أنابيبَ تحتوي على وسطٍ مغذٍّ وفي وضعياتٍ مختلفة. لاحظْ أن كلاً من النباتَين السفليَّين قد نَمَا في اتجاهٍ علوي، أما النباتُ العُلوي، الذي وُضعَ أصلاً بشكلٍ عموديٍّ، فلم يغيّرْ اتجاهَ نموّه. إن حركةَ النموِّ في النباتَين السفليَّين يسببُها الانتحاءُ الأرضي، المعروفُ بالانتحاءِ الأرضيِّ السالب. عندما تبدأُ الجذورُ بالنموِّ في اتجاهٍ سُفلي، فإنها تقومُ بالانتحاءِ الأرضيِّ الموجب.

### مراجعةُ القسم 11-1

1. ما الاستخداماتُ التجاريةُ المهمةُ للأكسيناتِ والجبريليناتِ والإيثيلين؟
2. بمَ يختلفُ الإيثيلين عن الهرمونات؟
3. كيف يتأثرُ رأسُ البادرةِ والبراعمُ الجانبيةُ بسيادةِ القمّةِ النامية؟
4. عرِّفِ الانتحاءاتِ الأربعة، وأعطِ مثالاً على كلٍّ منها.
5. كيف يتسببُ الأكسينُ بحركةٍ في النباتِ استجابةً للضوءِ والجاذبية؟
6. **تفكيرٌ ناقد** لماذا يعتبرُ تنظيمُ نموِّ النباتِ وضبطُه، بواسطةِ المحفِّزاتِ في المحيطِ البيئي، ذا فائدة؟

القسم

2-11

## مؤشرات الأداء

▲ يوضحُ دورَ الطول الحَرِجِ للَّيل في الإزهار.

● يصفُ عمليةَ تسريعِ الإثمار.

■ يفسِّرُ تعدُّدَ الألوانِ في أوراقِ النباتاتِ في فصلِ الخريف.

◆ يوضحُ دورَ الفايتوكروم في استجاباتِ النبات.

# الاستجاباتُ الفصلية

تتأثرُ استجاباتُ النبات، في المناطقِ غيرِ المدارية، تأثُّرًا بالغًا بالتغيّراتِ الفصلية. على سبيلِ المثال تتساقطُ أوراقُ الكثيرِ من الأشجارِ في فصلِ الخريف، ومعظمُ النباتاتِ تزهرُ في أوقاتٍ محددةٍ من السنة. كيف ترصدُ النباتاتُ التغيراتِ الفصلية؟ على الرغمِ من أن لدرجةِ الحرارةِ دوراً في بعضِ الحالات، فإن النباتاتِ تعطي دلائلَ أوليةً على الفصول، عن طريقِ تأثرها بالتغيراتِ الدائمةِ في طولِ الليل.

## الدورةُ الضوئية

تسمّى استجابةُ النباتِ لطولِ النهارِ والليلِ **الدورةَ الضوئية Photoperiodism**. تؤثِّرُ الدورةُ الضوئيةُ في العديدِ من العملياتِ التي تجري في النباتِ، ومنها مثلاً عمليةُ الإزهار.

### الطولُ الحرجُ للَّيل

وجدَ الباحثونَ أن العاملَ المهمَّ في الإزهارِ هو طولُ الليل، أو فترةُ الظلامِ التي تتعرضُ لها النباتات. يحتاجُ كلُّ نوعٍ من النباتِ إلى مدةٍ من الظلمةِ خاصةٍ به، وهي ما تسمّى **الطولَ الحرجَ للَّيل Critical night length**. تزهرُ **نباتاتُ النهارِ القصيرِ Short-day plant** عندَما يكونُ النهارُ أقصرَ من الليل. وفي المقابل، تزهرُ **نباتاتُ النهارِ الطويل Long-day plant** عندَما يكونُ النهارُ أطولَ من الليل.

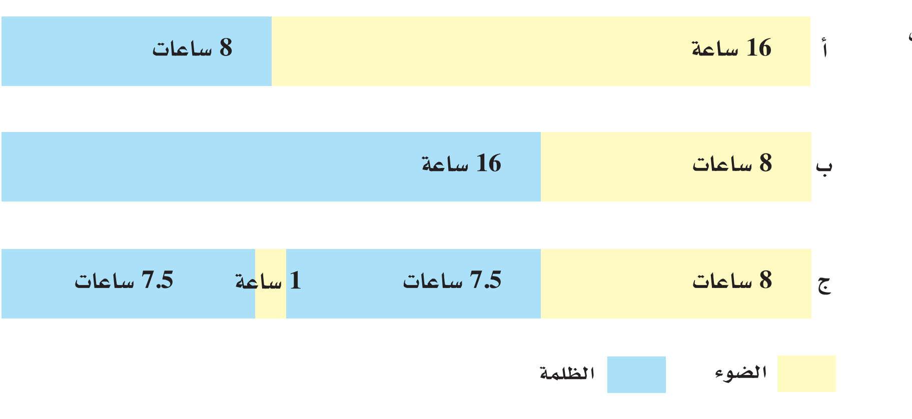
### الاستجابةُ لطولِ النهارِ ولطولِ الليل

يمكنُ تصنيفُ النباتاتِ في ثلاثِ مجموعات، وفقًا لاستجابتِها للدورةِ الضوئيةِ التي تعملُ كمؤشرٍ فصلي. فهناك مجموعةُ **النباتاتِ متعادلةِ اليوم Day-neutral plants**، ونباتاتُ النهارِ القصير، ونباتاتُ النهارِ الطويل. يلخّصُ الجدول 3-11 الدورةَ الضوئيةَ للمجموعاتِ الثلاث.

**الجدولُ 3-11 الدورةُ الضوئيةُ للإزهار**

| مجموعةُ النبات | الظروفُ المطلوبةُ للإزهار | فصولُ الإزهار | أمثلة |
|---|---|---|---|
| النباتاتُ متعادلةُ اليوم | لا يتأثّرُ الإزهارُ بالدورةِ الضوئية | من فصلِ الربيعِ إلى فصلِ الخريف | الطماطم، الورد، الذرة |
| نباتاتُ النهارِ القصير | النهارُ قصيرُ (ليل طويل) | فصلُ الربيع، فصلُ الخريف | الفراولة، فولُ الصويا |
| نباتاتُ النهارِ الطويل | النهارُ طويلُ (ليل قصير) | فصلُ الصيف | الفجل، الشمندر |




**الشكل 4-11**

في هذا الشكل مقارنةٌ بين نباتِ النهارِ القصيرِ ونباتِ النهارِ الطويل، على صورةِ ثلاثةِ تغيراتٍ في طولِ فترةِ الليل. لنباتِ النهارِ القصيرِ طولُ ليلٍ حرجٍ مدتُه 14 ساعة. لنباتِ النهارِ الطويلِ طولُ ليلٍ حرجٍ مدتُه 10 ساعات.

## ضبطُ دوراتِ الإزهارِ في النبات

تفحَّصِ الشكل 4-11 الذي يقارنُ بين الإزهارِ عندَ نباتاتِ نهارٍ طويلٍ ونباتاتِ نهارٍ قصير. إذا كانت فترةُ الليلِ ثمانيَ ساعات، تزهرُ نباتاتُ النهارِ الطويل، أما نباتاتُ النهارِ القصيرِ فلا تزهر. وإذا كانت فترةُ الليل 16 ساعة، تزهرُ نباتاتُ النهارِ القصير، ولا تزهرُ نباتاتُ النهارِ الطويل. أما إذا انقطعتْ فترةُ ليلٍ مدتُها 16 ساعة، بساعةِ ضوءٍ واحدةٍ في منتصفِها، فإن نباتاتِ النهارِ الطويلِ تزهرُ لكنَّ نباتاتِ النهارِ القصيرِ لا تزهر. هذه الاستجابةُ تدلُّ على أن طولَ فترةِ الظلامِ غيرِ المنقطعةِ هو بمثابةِ عاملٍ مهمّ. لأنه وإن كانَ إجماليُّ الظلامِ اليوميِّ 15 ساعة، فإن نباتاتِ النهارِ القصير، لن تزهرَ بسببِ ساعةِ الضوءِ تلك. إن المزارعين المتخصصينَ في إنتاجِ الأزهارِ والذين يودونَ الحصولَ على زهورِ نباتِ نهارٍ طويل، خلالَ فصلِ الشتاء، يقومونَ، بكلِّ بساطة، بتعريضِ هذا النباتِ لمنسوبٍ منخفضٍ من الضوءِ المتوهجِ في منتصفِ فترةِ الليل. ويتمُّ الحصولُ على أزهارِ فصلِ الصيف، انطلاقًا من نباتِ النهارِ القصير، عن طريقِ تغطيةِ النباتاتِ أواخرَ فترةِ بعد الظهر، بقماشٍ غيرِ شفاف، بحيثُ تتعرض نباتاتُ النهارِ القصيرِ لما يكفي من الظلام.

## التنظيمُ والضبطُ بواسطةِ الفايتوكروم

تراقبُ النباتاتُ تغيُّراتِ طولِ فترةِ النهار، بواسطةِ صبغٍ حسّاسٍ للضوءِ مائلٍ إلى اللونِ الأزرق، يسمّى الصبغَ النباتي **الفايتوكروم Phytochrome**. وبالاستنادِ إلى الطولِ الموجي للضوءِ الذي يمتصُّه الصبغ، يوجدُ نوعانِ من الفايتوكروم: النوعُ الذي يمتصُّ الأشعّةَ الحمراء، ويُسمّى ($P_r$)، والنوعُ الذي يمتصُّ الأشعّةَ ما دون الحمراء، ويُسمّى ($P_{fr}$). يحوِّلُ ضوءُ النهارِ الصبغ ($P_r$) إلى صبغ ($P_{fr}$). وفي الظلامِ يتمُّ تحويلُ الصبغ ($P_{fr}$) إلى ($P_r$). وللفايتوكروم، فضلاً عن الدورةِ الضوئية، دورٌ في سُباتِ البرعم، وفي إنباتِ البذور.

## تسريعُ الإثمار

**تسريعُ الإثمار Vernalization** هو تنشيطٌ لعمليةِ الإزهارِ عند درجةِ حرارةٍ منخفضة. وتسريعُ الإثمارِ مهمٌّ لمحاصيلِ الحبوبِ التي جرى زرعُ نباتِها خلالَ فصلِ الخريف، أمثالِ قمحِ الشتاءِ والشعير. فمثلاً يتمُّ زرعُ بذورِ القمحِ خلالَ فصلِ الخريف، فتظلُّ على قيدِ الحياةِ خلالَ فصلِ الشتاءِ، لكن على صورةِ بادرات. يؤدي تعرضُ النباتاتِ لدرجاتِ حرارةِ فصلِ الشتاءِ البارد، إلى إزهارِها في بدايةِ فصلِ الربيع، فيتمُّ إنتاجُ المحاصيلِ باكرًا. فلو جرى زرعُ بذورِ القمحِ نفسِهِ خلالَ فصلِ الربيع، لتطلّبَ إنتاجُ المحصولِ نفسِهِ شهرينِ إضافيين. هكذا، يتبيّنُ أن درجاتِ الحرارةِ المنخفضةِ ليست ضروريةً بشكلٍ مطلقٍ لمعظمِ النباتاتِ المزروعةِ لإنتاجِ المحاصيل، إلا أنها تسرِّعُ عمليةَ الإزهار. وغالبًا ما يعتمدُ المزارعونَ طريقةَ تسريعِ الإثمارِ في الزراعةِ وحصدِ المحاصيل، قبلَ أن يسودَ الجفاف، في الصيف.



**الشكل 11-5**
تظهرُ ألوانُ الأصباغِ الكاروتينويدية في أوراقِ الخريفِ هذه وقد فَقَدتْ معظمَ صبغِها من الكلوروفيل.

### ألوانُ فصلِ الخريف

خلالَ فصلِ الخريف، تُعرَفُ بعضُ الأشجارِ بألوانِ أوراقِها المتعددة. وتنجمُ الألوانُ المتغيرةُ، إبانَ فصلِ الخريفِ، عن الاستجابةِ للدورةِ الضوئيةِ ودرجةِ الحرارة. فبينما يصبحُ الليلُ أطولَ خلالَ فصلِ الخريف، تتوقفُ الأوراقُ عن إنتاجِ الكلوروفيل. ويبقى في الأوراقِ أصباغُ الكاروتينويداتِ البرتقاليةُ اللون، وأصباغُ الزانثوفيل الصفراءُ اللون، فتُكسِبُ أوراقَ الخريفِ هذه الألوان. وهناك مجموعةٌ أخرى من الأصباغِ الموجودةِ في الأوراقِ هي أصباغُ الأنثوسيانين، التي يتمُّ إنتاجُها في ظروفِ الطقسِ المشمسِ والبارد. تمنحُ أصباغُ الأنثوسيانين النباتَ لونًا أحمرَ بديعًا ولونًا أحمرَ أرجوانيًا.

### مراجعةُ القسم 11-2

1. ميِّزْ بينَ نباتاتِ النهارِ القصيرِ ونباتاتِ النهارِ الطويل.
2. كيفَ يجعلُ المزارعونَ الذين ينتجونَ الزهور، نباتاتِ النهارِ القصير، كالأقحوان، تزهرُ في أيِّ وقتٍ من السنة؟
3. كيفَ يمكِّنُ صبغُ الفايتوكروم النباتيِّ النباتَ من مراقبةِ تبدّلِ الفصول؟
4. كيفَ يستخدمُ المزارعونَ عمليةَ تسريعِ الإثمارِ لصالحِهم؟
5. وضّحْ سببَ تغيُّرِ ألوانِ الأوراق، خلالَ فصلِ الخريف.
6. **تفكيرٌ ناقد** لماذا يبدو تعبيرُ الدورةِ الليليةِ التعبيرَ الأفضلَ لوصفِ العمليةِ المسمّاةِ الدورةَ الضوئية؟

# مراجعةُ الفصل 11

## ملخّص / مفردات

**1-11**

- الهرموناتُ موادٌّ كيميائيّةٌ طبيعية. يمكنُ صنعُ العديدِ منها في المختبر.
- توجدُ خمسُ مجموعاتٍ رئيسةٍ من الهرموناتِ النباتية، هي: الأكسينات، الجبريلينات، الإيثيلين، السايتوكينينات، حمضُ الأبسيسك.
- تُستخدَمُ الأكسيناتُ الصناعيةُ لأغراضٍ عديدةٍ ومن بينها تنشيطُ تكوُّنِ الجذور، وطريقةُ التعقيل، وإبادةُ الأعشابِ الضارة، ومنعُ إنباتِ البراعم، وتنشيطُ الثمارِ أو منعُ سقوطِها.
- سيادةُ القمةِ الناميةِ تتمُّ بمنعِ البرعمِ الجانبيِّ من النموِّ بفضلِ الأكسينِ الذي ينتجُه البرعمُ الطرفيُّ العلوي.
- تُستخدَمُ الجبريليناتُ لإنباتِ البذور، وتنشيطِ الإزهار، وتنميةِ الثمارِ والاستطالة.
- الإيثيلين يحفِّزُ سقوطَ أجزاءٍ من النباتِ وإنضاجَ الثمر، وهو الهرمونُ الغازيُّ الوحيد.
- السايتوكينيناتُ تنشطُ الانقسامَ الخلويَّ ونموَّ البراعمِ الجانبية.
- حمضُ الأبسيسك ينشّطُ السُّباتَ وإغلاقَ الثغورِ النباتية، استجابةً للنقصِ في الماء.
- الانتحاءاتُ هي أشكالٌ من الحركةِ في مجالِ نموِّ النبات، يحددُ فيها اتجاهُ النموِّ عبرَ اتجاهِ المحفزِ في المحيطِ البيئي.
- معظمُ السُّوقِ والأوراقِ تتصفُ بالانتحاءِ الموجب، إلا أن بعضَ السُّوقِ المتسلقةِ تتصفُ بالانتحاءِ اللمسيِّ الموجبِ أو بالانتحاءِ الضوئيِّ السالب، مما يسمحُ لها بتسلقِ الجدران.
- تتصفُ الجذورُ، عادةً، بالانتحاءِ الموجبِ مع الجاذبية، وتتصفُ السوقُ، عادةً، بالانتحاءِ السالبِ مع الجاذبية.

### مفردات

- **الايثيفون** Ethephon (168)
- **الأكسين** Auxin (168)
- **الانتحاء** Tropism (167)
- **الانتحاءُ الأرضي** Geotropism (170)
- **الانتحاءُ الضوئي** Phototropism (167)
- **الانتحاءُ الكيميائي** Chemotropism (170)
- **الانتحاءُ اللمسي** Thigmotropism (169)
- **أندول حمضُ الأسيتيك** Indoleacetic Acid (168)
- **الإيثيلين** Ethylene (168)
- **الجبريلين** Gibberellin (168)
- **حمضُ الأبسيسك** Abscisic acid (168)
- **السايتوكينين** Cytokinin (168)
- **سيادةُ القمةِ النامية** Apical dominance (168)
- **منظمُ النمو** Growth regulator (167)
- **نفتالين حمض الأسيتيك** Naphthalene Acetic Acid (168)
- **الهرمون** Hormone (167)

**2-11**

- الدورةُ الضوئيةُ هي الاستجابةُ النباتية، كالإزهارِ أو السُّبات، لطولِ النهارِ أو الليل.
- تُصنَّفُ النباتاتُ في إحدى الفئاتِ الثلاثِ التاليةِ للدورةِ الضوئيةِ الخاصةِ بالإزهار: النباتاتُ متعادلةُ اليوم، نباتاتُ النهارِ القصير، نباتاتُ النهارِ الطويل.
- تَراقبُ النباتاتُ طولَ الليلِ وطولَ النهار، عن طريقِ استخدامِ الصِّبغِ النباتي، الفايتوكروم.
- تسريعُ الإثمارِ هو تنشيطُ الإزهارِ باستخدامِ درجاتِ الحرارةِ المتدنية.
- ألوانُ الأوراق، في فصلِ الخريف، تنجمُ عن تفكّكِ صبغِ الكلوروفيل، مما يكشفُ الأصباغَ الصفراءَ الموجودةَ فيها بشكلٍ دائم، كما يكشفُ عن بناءِ الأصباغِ الحمراء.

### مفردات

- **تسريعُ الإثمار** Vernalization (173)
- **الدورةُ الضوئية** Photoperiodism (171)
- **الطولُ الحرجُ لليل** Critical night length (171)
- **الفايتوكروم** Phytochrome (172)
- **النباتاتُ متعادلةُ اليوم** Day neutral plants (171)
- **نباتاتُ النهارِ الطويل** Long-day plants (171)
- **نباتاتُ النهارِ القصير** Short-day plants (171)

## مراجعة

### مفردات

ماأوجهُ الاختلافِ بينَ مفردتَيْ كلِّ زوجٍ من المفرداتِ التالية؟

1. الانتحاءُ اللمسي، الانتحاءُ الأرضي
2. الهرمون، منظمُ نموِّ النبات
3. تسريعُ الإثمار، الدورةُ الضوئية
4. الانتحاءُ الضوئيُّ الموجب، الانتحاءُ الضوئيُّ السالب
5. نباتاتُ النهارِ القصير، نباتاتُ النهارِ الطويل

### اختيارٌ من متعدِّد

6. تعرُّضُ بعضِ النباتاتِ للبردِ ينشّطُ الإزهار، ويشكِّلُ ذلك عمليةً تعرفُ باسم (أ) الدورةِ الضوئية (ب) تسريعِ الإثمار (ج) السبات (د) الانتحاءِ مع الحرارة.
7. إن نموَّ الجذورِ فوقَ سطحِ التربة، حيث الأكسجينُ أكثرُ توفرًا، يُسمّى (أ) الانتحاءَ الأرضيَّ السالب (ب) الانتحاءَ الكيميائيَّ السالب (ج) الانتحاءَ الضوئي الموجب (د) الانتحاءَ الكيميائيَّ الموجب.
8. السايتوكينيناتُ تنشّطُ (أ) تقدُّمَ الخليةِ في السن (ب) الانقسامَ الخلوي (ج) التخزينَ الخلوي (د) النقلَ الخلوي.
9. ينجمُ تغيرُ لونِ أوراقِ الأشجارِ في فصلِ الخريفِ عن عملية بناء (أ) صبغِ الكلوروفيل (ب) الأصباغِ الكاروتينويدية (ج) أصباغِ الزانثوفيل (د) أصباغِ الأنثوسيانين.
10. الهرمونُ الغازيُّ هو (أ) الأكسين (ب) الجبريلين (ج) الإيثيلين (د) حمضُ الأبسيسك.

### إجابةٌ قصيرة

11. وضِّحْ كيفَ تتأثَّرُ قممُ البادراتِ والبراعمُ الجانبيةُ بسيادةِ القمةِ النامية.
12. عرِّفِ الطولَ الحَرِجَ للَّيل، ووضِّحْ كيفَ يطبَّقُ على الدورةِ الضوئية.
13. صِفْ ثلاثَ طرقٍ يمكنُ معها لبستانيِّ الحدائقِ المنزليةِ أن يستخدمَ الأكسين.
14. وضِّحْ لماذا تتغيّرُ ألوانُ أوراقِ الشجرِ خلالَ فصلِ الخريف.
15. انظرْ إلى الصورةِ الفوتوغرافيةِ التالية، ووضِّحْ كيفَ يمكنُ للانتحاءِ الضوئيِّ السالبِ أن يؤديَ إلى امتصاصٍ أكبرَ لضوءِ الشمسِ في إطارِ البناءِ الضوئي.



## تفكيرٌ ناقد

1. لو لم يكن حمضُ الأبسيسك مكلفًا، فما بعضُ استعمالاتِهِ المحتملةِ على الصعيدِ الزراعي، أو على صعيدِ الحدائق.
2. إذا زُرعَتْ درنةُ البطاطس كاملةً، ينبتُ برعمٌ واحدٌ أو برعمان فقط، عند طرفٍ واحدٍ منها. أما إذا قُطِّعتْ إلى أجزاءٍ، بحيثُ يكونُ في كلِّ جزءٍ برعم، فإن جميعَ البراعمَ تنبت. علِّل ذلك.
3. فقدُ الأشجارِ والشجيراتِ لأوراقِها بشكلٍ فصليٍ له فائدةٌ تكيفيةٌ في مجالِ حفظِ الموادِّ الغذائية. أيُّ فوائدَ تكيفيةٍ أخرى قد تتحققُ بفقدِ الأوراق؟

## توسيعُ آفاقِ التفكير

1. اخترْ عدةَ أنواعٍ من النباتات، وازرعْ ستًّا من بذورِ كلِّ نوع، في أوعيةٍ منفصلةٍ مليئةٍ بالتراب. اتركِ البذورَ كي تنبتَ وتنموَ حتى يبلغَ ارتفاعُ بادراتِها 10 سنتميترات. اجعلْ أوعيةَ البذورِ المزروعةِ تستقرُّ على جوانبِها، ولاحظِ الفترةَ الزمنيةَ التي تتطلبُها النباتاتُ كي تنموَ مجدَّدًا إلى أعلى. هل تختلفُ نسبةُ الانحناءِ باختلافِ أنواعِ النباتات؟

# المفردات

## أ

**الإثراءُ الغذائي** **Eutrophication** تزايدُ الموادِّ الغذائيةِ في محيطٍ بيئي. (77)

**إجباريُّ التطفل داخلَ الخلية** **Obligate intracellular parasite** طفيليٌّ يتطلبُ خليةً عائلاً كي يتكاثر. (63)

**الإخراجُ الخلوي** **Exocytosis** عمليةٌ تتحدُ فيها الحويصلةُ، داخلَ الخلية، بالغشاءِ الخَلويِّ، وتطلقُ محتوياتِها في المحيطِ البيئيِّ الخارجي. (14)

**الإدخالُ الخلوي** **Endocytosis** طريقةٌ تقومُ بها الخليةُ للإحاطةِ بموادَّ معينةٍ وابتلاعِها. (13)

**أدينوسينٌ ثنائيُّ الفوسفات** **Adenosine diphosphate** مادةٌ معنيةٌ بالأيضِ المتعلقِ بالطاقة، تتكوّنُ عن طريقِ تفكيكِ الأدينوسين ثلاثيِّ الفوسفات. (23)

**الارتشاف** **Pinocytosis** نوعٌ من الإدخالِ الخلويِّ يتمُّ عن طريقِهِ ابتلاعُ محاليلَ أو سوائل. (13)

**الاسمُ العلمي** **Scientific name** اسمٌ مكوَّنٌ من جزءين هما اسمُ الجنسِ واسمُ النوعِ يطلقُ على نوعِ كائنٍ حيّ. (49)

**الأسموزية** **Osmosis** انتشارُ الماءِ عبرَ غشاءٍ يتصفُ بنفاذيةٍ انتقائية. (6)

**الأسموزيةُ الكيميائية** **Chemiosmosis** عمليةٌ تجري في البلاستيداتِ الخضراءِ وفي الميتوكوندريا يقترنُ فيها انتقالُ البروتوناتِ في اتجاهِ أسفلِ منحدرِ تركيزِها عبرَ غشاءٍ ببناءِ الأدينوسين ثلاثيِّ الفوسفات. (23)

**الأسيتيل مرافقُ الأنزيم-أ** **Acetyl coenzyme A** مركبٌ يتفاعلُ مع حمضِ الأوكسالو أسيتيك في الخطوةِ الأولى من دورةِ كربس. (36)

**الاقتران** **Conjugation** اتحادُ كائنَين طلائعيين بهدفِ تبادلِ الموادِّ الوراثية. (84)

**أكتينوميسيت** **Actinomycetes** فردٌ في طائفةِ البكتيريا، يتميّزُ بشكلٍ عَصوي، ويكوِّنُ خيوطًا متشعِّبة. (78)

**الانتشار** **Diffusion** عمليةُ انتقالِ جزيئاتٍ من منطقةٍ ذاتِ تركيزٍ أعلى إلى منطقةٍ ذاتِ تركيزٍ أقلّ. (5)

**الانتشارُ الميسَّر** **Facilitated diffusion** عمليةُ انتقالِ موادَّ في اتجاهِ أسفلِ منحدرِ تركيزِها، عبرَ الغشاءِ الخلوي، بمساعدةِ بروتيناتٍ ناقلة. (9)

**أنزيمُ بناءِ الأدينوسين ثلاثيِّ الفوسفات** **ATP synthase** أنزيمٌ يحفزُ عمليةَ بناءِ الأدينوسين ثلاثيِّ الفوسفات انطلاقًا من الأدينوسين ثنائيِّ الفوسفاتِ والفوسفات. (23)

---

**الآفة** **Blight** مرضٌ سريعُ الحدوثِ يصيبُ النباتات، يتميّزُ بتلفِ الأوراقِ والسوقِ والأزهارِ وفقدِ ألوانِها. (105)

**الأجار** **Agar** أساسٌ لزرعِ الميكروباتِ شبيهٌ بالجلي. يُستخرجُ من الجدرانِ الخلويةِ للطحالبِ الحمراء. (101)

**الإخصابُ المزدوج** **Double fertilization** في النباتات، اتّحادُ نوعَين من الخلايا يجري داخلَ الكيسِ الجنيني. (157)

**الأركيكونة** **Archegonium** في النباتاتِ اللابذرية، تركيبٌ تكاثريٌّ يُنتجُ بويضةً مفردةً من خلالِ الانقسامِ المتساوي. (149)

**السكلرنكيمية** **Sclerenchyma** نسيجٌ أساسيٌّ، يدعمُ النباتَ ويقوّيه. (129)

**الأشنة** **Lichen** ثنائيٌّ تقايضيٌّ بينَ فطرٍ وطُحلبٍ أخضر. (116)

**الإضاءةُ الحيوية** **Bioluminescence** هي إنتاجُ الضوءِ عن طريقِ تفاعلٍ كيميائيٍّ في كائنٍ حيّ. (102)

**أعضاءُ التخزين** **Sink** مكانٌ يُخزِّنُ فيه النباتُ السكّرياتِ أو يستخدمُها فيه. (140)

**الأفلاتوكسين** **Aflatoxin** سمٌّ فطريٌّ يسبِّبُ سرطانَ الكبد، ينتجُهُ نوعٌ من الفطريات. (117)

**الاقتران** **Conjugation** اتحادُ اثنَيْنِ من الطلائعيات، بهدفِ تبادلِ المادةِ الوراثية. (93)

**الإكتوبلازم** **Ectoplasm** منطقةٌ من السيتوبلازم تقعُ مباشرةً داخلَ الأغشيةِ الخلويةِ وتلتصقُ بها. (95)

**الإكثارُ الخضري** **Vegetative propagation** تكاثرٌ لاجنسيٌّ في النباتات. (162)

**الأكسين** **Auxin** هرمونٌ نباتيٌّ ينظِّمُ نموَّ النباتِ طوليًّا. (168)

**الأملاحُ المطلوبةُ بكمّياتٍ قليلة** **Micronutrients** عناصرُ كيميائيةٌ تستخدمُها الخلايا بكمّياتٍ ضئيلةٍ نسبيًّا. (136)

**الأملاحُ المطلوبةُ بكميّاتٍ كبيرة** **Macronutrients** عناصرُ كيميائيةٌ تستخدمُها الخلايا بكمّياتٍ كبيرةٍ نسبيًّا. (136)

**الإنبات** **Germination** في النبات، هو العمليةُ التي يبدأُ خلالَها نموُّ جنينِ البذرة. (127)

**الأنبوبُ الغربالي** **Sieve tube** تركيبٌ مكوّنٌ من خلايا لحاءِ النباتاتِ الزهرية. (131)

**أنبوبُ اللقاح** **Pollen tube** تركيبٌ ينمو من حبّةِ اللقاح، تعبرُهُ الخليةُ الذكريةُ في اتّجاهٍ سفليٍّ نحوَ البويضة. (152)

**الانتحاء** **Tropism** حركةُ النباتاتِ باتجاهِ محفِّزٍ في المحيطِ البيئيِّ أو بعيدًا عنه. (167)

**الانتحاءُ الأرضي** **Geotropism** هو نموُّ النباتِ استجابةً للجاذبية. (170)

**الانتحاءُ الضوئي** **Phototropism** هو نموُّ النباتِ استجابةً للضوء. (167)

**الانتحاءُ الكيميائي** **Chemotropism** هي نموُّ النباتِ استجابةً لمادّةٍ كيميائية. (170)

**الانتحاءُ اللمسي** **Thigmotropism** هو نموُّ النباتِ استجابةً لملامسةِ جسمٍ صلب، ومثالُهُ، محاليقُ نباتٍ متسلّقٍ كالعنبِ يلتفُّ عندَ ملامستِه جسمًا ما. (169)

**الأنثريدة** **Antheridium** في النباتاتِ اللابذرية، تركيبٌ تكاثريٌّ ينتجُ الأمشاجَ من خلالِ الانقسامِ المُتساوي. (149)

**الأندوبلازم** **Endoplasm** منطقةٌ من السيتوبلازم تقعُ داخلَ الخلية (95)

**إندول حمض الأسيتيك Indoleacetic acid** هو هرمونٌ أكسين ينتجُ في مناطقَ نموٍّ نشطةٍ لدى النباتات. (168)

**الانشطارُ المتعدِّد Multiple fission** شكلٌ من الانقسام الخلويّ ينتجُ عنه عددٌ من الأفرادِ المتطابقة. (93)

**الأوّليات Protozoa** طلائعياتٌ أحاديةُ الخلية، حقيقيةُ النواة، قادرةٌ على التنقّلِ بصورةٍ مستقلّة. (93)

**الإيثيفون Ethephon** مادّةٌ كيميائيةٌ صناعيةٌ تتفكّكُ فتطلقُ غازَ الإيثيلين المُستخدمَ في إنضاجِ الثمر. (168)

**الإيثيلين Ethylene** هرمونٌ غازيٌّ تنتجُهُ أجزاءٌ متنوّعةٌ من النبات، وتطلقُه في الهواء. (168)

## ب

**ببتيدوجلايكان Peptidoglycan** مركّبٌ بروتينيٌّ سكّريٌّ يتواجدُ في الجدرانِ الخلويةِ للبكتيريا. (75)

**البروتينُ الناقل Carrier protein** بروتينٌ ينقلُ موادَّ معيّنةً عبرَ غِشاءٍ أحيائي. (9)

**بروتينٌ سكري Glycoprotein** جزيءٌ بروتينيٌّ تلتحمُ به سلاسلُ سكّريةٍ. (61)

**البريون Prion** بروتينٌ سكريٌّ جزئي، يتعلقُ بأمراضٍ ذاتِ فتراتِ حَضْنٍ طويلةِ الأمد. (62)

**بكتيريا الأمعاء Enteric bacterium** بكتيريا غيرُ ذاتيةِ التغذية، سالبةٌ لصبغةِ جرام وتقطنُ في أمعاءِ الحيوانات. (79)

**البكتيريا الحقيقية Eubacteria** مجموعةٌ من الكائناتِ أحاديةِ الخليةِ وبدائيةِ النواةِ تشتملُ على جميعِ البكتيريا الحاليةِ عدا البكتيريا القديمة. (53)

**البكتيريا العَصوية Bacillus** بكتيريا على شكلِ العصا. (76)

**البكتيريا العُنقودية Staphylococcus** بكتيريا حقيقيةٌ تتواجدُ على شكلِ كتلٍ عُنقودية. (76)

**البكتيريا القديمة Archaebacterium** كائناتٌ أحاديةُ الخليةِ وبدائيةُ النواةِ تتميّزُ من بدائياتِ النواةِ الأخرى في التكوينِ الكيميائيِّ للأغشيةِ الخلويةِ وللجدرانِ الخلوية. (52)

**البكتيريا الكُروية Coccus** بكتيريا على شكلِ كرات. (76)

**البكتيريا الكُرويةُ السبحية Streptococcus** البكتيريا الموجبةُ لصبغةِ جرام على صورةِ سلسلة. (76)

**البكتيريا اللولبية Spirillum** بكتيريا حقيقيةٌ على شكلِ لولب. (76)

**البلزمة Plasmolysis** تقلُّصُ أو ذبولُ خليةٍ ذاتِ جدار، في محيطٍ بيئيٍّ عالي التركيز. (8)

**البلعمة Phagocytosis** نوعٌ من الإدخالِ الخلويِّ تقومُ فيه الخليةُ بابتلاعِ جزيئاتٍ كبيرةِ الحجمِ أو خلايا بكاملِها. (13)

**البناءُ الضوئي Photosynthesis** تحويلُ الطاقةِ الضوئيةِ إلى طاقةٍ كيميائيةٍ تُخزَنُ في مركباتٍ عُضوية. (19)

**البوغُ الداخلي Endospore** خليةُ بكتيريا في حالِ سُبات، متواجدةٌ ضمنَ غلافٍ صلبٍ ومتين. (82)

**بينيسلين Penicillin** مضادٌّ حيويٌّ، يكافحُ البكتيريا عن طريقِ تدخلِهِ في عمليةِ بناءِ الجدارِ الخلويِّ للبكتيريا. (86)

---

**الأوراق التويجية Petal** جزءٌ من أجزاءِ تويجِ الزهرة، شبيهٌ بالورقةِ، يكونُ عادةً ذا لونٍ برّاقٍ ورائع. (153)

**البثرة Sorus** كتلةٌ في المحافظِ البوغيةِ في السرخسيات. (150)

**البذرة Seed** جنينُ نباتٍ داخلَ غلافٍ واق. (158)

**البرعم Bud** تركيبٌ ينمو على الساقِ عندَ نقطةِ ارتكازِ كلِّ ورقة. (138)

**البرنكيمية Parenchyma** في النباتات، هو النسيجُ الأساسيُّ الحيُّ الذي يتكوّنُ من خلايا ذاتِ جدرانٍ رقيقة. (129)

**البشرةُ الخارجية Epidermis** طبقةٌ من الخلايا تكوّنُ غلافًا خارجيًّا لسطحِ جسمِ نبات. (130)

**البشرة الداخلية Endodermis** في النباتات، طبقةٌ متخصّصةٌ من الخلايا تنظّمُ دخولَ الموادِّ إلى وسطِ الجذور. (135)

**البقعةُ العينية Eyespot** منطقةٌ محدّدةٌ مصطبغةٌ في حيواناتٍ لافقاريةٍ وأوّليات، ترصدُ التغيُّراتِ في كميّةِ الضوءِ وفي نوعيتِه. (93)

**البلازموديوم Plasmodium** سيتوبلازمٌ عديدُ الأنويةِ لفطرٍ غرويٍّ محاطٍ بغشاء، ويتنقّلُ ككتلة. (105)

**البلازموديومُ الكاذب Pseudoplasmodium** مجموعةٌ من الخلايا تعملُ معًا كوحدةٍ، لتشكّلَ محفظةَ أبواغ. (104)

**البلعوم Gullet** تركيبٌ يكوّنُ مجاريَ غذائيةً تتنقّلُ في السيتوبلازم، عند البراميسيوم. (95)

**البوغ Spore** خليةٌ تكاثريةٌ متينة، في كائناتٍ حيَّةٍ، كبعضِ النباتاتِ والطلائعياتِ والفطريات. (150)

**البوغُ الأنثويُّ الضخم Megaspore** بوغٌ ينتجُ من خلالِ الانقسامِ المنصِّفِ، في محفظةِ أبواغٍ أنثوية. (151)

**البوغُ الذكريُّ الدقيق Microspore** بوغٌ ينتجُ عن الانقسامِ المنصِّفِ في محفظةِ أبواغ. (151)

**البوغُ السوطي Zoospore** بوغٌ مزوَّدٌ بسوط. (99)

**البوغُ الكيسي Ascospore** هو إحدى الخلايا الثماني، أحاديةِ المجموعةِ الكروموسومية، الموجودةِ في محفظةٍ بوغيةٍ لفطرٍ كيسي. (115)

**البوغُ اللاقح Zygospore** تركيبٌ للحمايةِ يتكوّنُ عندَما يسمكُ جدارُ البويضةِ المخصَّبة. (99)

**البوغُ المحفظي Sporangiospore** في الفطريات، أبواغٌ تنتجُ داخلَ مَحافِظَ بوغية. (112)

**البويضة Ovule** محفظةٌ بوغيةٌ أنثويةٌ في نباتٍ زهري. (152)

**البويضةُ المخصَّبةُ البوغية Zygosporangium** في الفطريات، أمشاجٌ متّحدةٌ أثناءَ الاقتران. (113)

**البيرينويد Pyrenoid** تركيبٌ بروتينيٌّ صغير، يقعُ داخلَ البلاستيداتِ الخضراء، في بعضِ الطحالب، ويخزِّنُ النشاء. (98)

## ت

**تتراسيكلين Tetracycline** مضادٌّ حيويّ، يكافحُ البكتيريا عن طريقِ تدخلِه في عمليةِ بناءِ البروتيناتِ البكتيرية. (86)

**تثبيتُ الكربون Carbon fixation** إدخالُ ثاني أكسيدِ الكربونِ إلى المركّباتِ العُضوية. (24)

**تحت النوع Subpecies** أصنافٌ من أنواعِ الحيواناتِ، تتواجدُ في مناطقَ جغرافيةٍ ذاتِ اختلاف. (49)

**التحلّل Lysis** تفكّكُ الخليةِ بسببِ خللٍ في الغشاءِ البلازمي. (65)

**تحلُّلُ الخلية Cytolysis** تفجّرُ الخلية. (9)

**التحلُّلُ السكّريّ Glycolysis** مسارٌ تجري فيه أكسدةُ الجلوكوز ليصبحَ حمضَ بيروفيك. (31)

**التحول Transformation** عمليةٌ يتمُّ خلالها نقلُ حمضٍ نوويٍّ من خليةٍ بكتيريةٍ إلى أخرى. (84)

**التخمُّر Fermentation** عمليةٌ تقومُ فيها الخلايا بصنعِ كميةٍ محدودةٍ منالأدينوسين ثلاثيِّ الفوسفاتِ بتحويلِ الجلوكوزِ إلى مركَّبٍ عُضويٍّ آخر، كالحمضِ اللَّبَنِيِّ أو الكحولِ الإيثيلي، بحضورِ الأكسجين. (33)

**تخمُّرُ الحمضِ اللَّبَنِيّ Lactic acid fermentation** عمليةٌ يتمُّ فيها تحويلُ حمضِ البيروفيك إلى حمضٍ لَبَنِيّ. (33).

**التخمُّرُ الكحولي Alcoholic fermentation** عمليةٌ يتمُّ فيها تحويلُ حمضِ البيروفيك إلى كحولٍ إيثيلي. إنه المفعولُ اللاهوائيُّ لفطرِ الخميرةِ على السكّريّات. (34)

**التسميةُ الثنائية Binomial nomenclature** نظامٌ لتسميةِ الكائناتِ الحيةِ يستخدمُ اسمَ الجنسِ واسمَ النوع. (49)

**التفاعلاتُ الضوئية Light reactions** التفاعلاتُ الأوليةُ (الأساسية) للبناءِ الضوئي. ومن ضمنِها امتصاصُ الضوءِ عبرَ النظامِ الضوئيِّ الأولِ والنظامِ الضوئيِّ الثاني، وعبورُ الإلكتروناتِ على طولِ سلاسلِ نقلِ الإلكترونات، وإنتاجُ NADPH والأكسجين، وبناءُ الأدينوسين ثلاثيِّ الفوسفاتِ من خلالِ العمليةِ الأُسموزيةِ الكيميائية. (20)

**التنفسُ الخلوي Cellular respiration** عمليةٌ تقومُ الخليةُ فيها بصنعِ الأدينوسينِ ثلاثيِّ الفوسفاتِ عن طريقِ تفكيكِ المركباتِ العضوية. (31)

**التنفسُ الهوائي Aerobic respiration** عمليةٌ تقومُ الخليةُ فيها ببناءِ الأدينوسين ثلاثيِّ الفوسفاتِ عن طريقِ تفكيكِ مركباتٍ عضوية، ويكونُ الأكسجينُ فيها هو المستقبِلَ الأخيرَ للإلكترونات. (36)

**التوازن Equilibrium** حالةٌ تتحققُ عندما تكونُ درجةُ تركيزِ مادةٍ معينةٍ هي ذاتَها في كاملِ حيِّزٍ محدّد. (5)

---

**التبرعم Budding** في الفطريات، شكلٌ من التكاثرِ اللاجنسي، يحدثُ فيه انفصالُ جزءٍ من الخليةِ لإنتاجِ خليةٍ جديدة. (112)

**التجزئة Fragmentation** في الفطريات، شكلٌ من التكاثرِ اللاجنسي، يتمُّ خلالَه إطلاقُ خلايا مفردةٍ تعملُ على صورةِ الأبواغ. (112)

**التخت Receptacle** هو الطرفُ المنتفخُ لغصن، ويمثِّلُ قاعدةَ الزهرة. (153)

**الترقيد Layering** عمليةٌ تتمُّ خلالَها تنميةُ الجذورِ على الساق. (162)

**تسريعُ الإثمار Vernalization** ما تتطلّبهُ بعضُ الجذورِ أو الأبواغِ في تعرُّضِها للبرد، قبل أن تتمكّنَ من الإنبات. (173)

**التطعيم Grafting** تقنيةٌ يتمُّ فيها إدخالُ قطعةٍ من نباتٍ فتنمو مع جذورِ نباتٍ آخرَ أو ساقِه. (162)

**تعاقبُ الأجيال Alternation of generation** دورةُ حياةٍ جنسية، في النباتاتِ والطحالب، تتكوّنُ من طورَين أو أكثر. (100)

**التعرُّق Venation** هو ترتيبُ العروقِ في الورقة. (143)

**التعرُّق الشبكي Net venation** في أوراقِ النبات، عروقٌ تتشعَّبُ منها عروقٌ أصغرُ لتشكّلَ شبكة. (143)

**التعرُّق المتوازي Parallel venation** هو ترتيبُ العروقِ في ورقةٍ بشكلٍ متوازٍ. (143)

## ث

**الثالوس Thallus** هو جسم الطحلب. (98)

**الثقبُ الشرجي Anal pore** في الأوليات، فتحةٌ تطرحُ من خلالِها الفضلات. (95)

## ج

**جسرُ الاقتران Conjugation bridge** لدى البكتيريا وبعضِ الطحالبِ والفطريات، هو ممرٌّ تنتقلُ عبرهُ المعلوماتُ الوراثيةُ من كائنٍ حيٍّ إلى آخر. (84)

**الجنس Genus** في علمِ التصنيف، هو مجموعةٌ من أنواعٍ متماثلةٍ من الكائناتِ الحية. (48)

---

**الجبريلين Gibberellin** هرمونٌ نباتيٌّ يعملُ على تنشيطِ النموِّ طوليًّا، وإيقافِ مرحلةِ السبات. (168)

**الجذرُ الليفي Fibrous root** جذرٌ شبيهٌ بالخيوط، ينمو وينتشرُ تحتَ سطحِ التربة، فيزيدُ من قدرةِ امتصاصِ الماءِ والأملاح، ويثبِّتُ النباتَ في التربة. (133)

**الجذرُ الوتدي Tap root** هو العضوُ الذي ينتجُ عن نموِّ الجذرِ الأوليِّ في اتجاهٍ سفليٍّ، ويصبحُ أكبرَ الجذور. (133)

**الجسمُ الثمري Fruiting body** تركيبٌ يحملُ الأبواغَ في فطرٍ غرويٍّ أثناءَ التكاثر. (104)

**الجسمُ الثمريُّ الدعامي Basidiocarp** هو الجسم المثمرُ في الفطرِ الدعامي. (114)

**الجسمُ الثمريُّ الكيسي Ascocarp** هو الجسم المثمرُ في الفطرياتِ الكيسية. (115)

## ح

**الحشوةُ Stroma** لدى النبات، هو المحلولُ الذي يحيطُ بالثايلاكويد في بلاستيدةٍ خضراء. (20)

**حشوةُ الميتوكوندريون Mitochondrial matrix** حيِّزٌ خاصٌ داخل غشاءِ الميتوكوندريون. (36)

**حمضُ الأكسالو أسيتيك Oxaloacetic acid** مركّبٌ رباعيُّ الكربون يتحدُ بأسيتيل CoA في دورةِ كربس، بهدفِ إنتاج حمضِ السيتريك. (37)

**حمضُ البيروفيك Pyruvic acid** جزيءٌ ثلاثيُّ الكربون وهو المنتجُ النهائيُّ للتحللِ السكّري. (32)

**حمضُ السيتريك Citric acid** مركّبٌ سداسيُّ الكربون يتكونُ في دورةِ كربس (37)

**الحُوَيْصِلة Vesicle** هي كيسٌ لدى الخليةِ حقيقيةِ النواةِ يتصلُ بغشاءٍ ويحتوي على موادَّ مرتبطةٍ بالإدخالِ الخلويِّ والإخراجِ الخلويِّ أو بالنقلِ داخلَ الخلية. (13)

**الحويصلةُ المتباينة Heterocyst** خليةٌ من نوعِ البكتيريا الخضراءُ المزرقة، تقومُ بتثبيتِ النيتروجينِ الجويّ. (77)

**حاملُ المحفظةِ البوغية Sporangiophore** في بعضِ الفطريات، خيطٌ فطريٌّ عموديٌّ ينتجُ مَحافِظ. (112)

**حبةُ اللقاح Pollen grain** نباتٌ مشيجيٌّ ذكريٌّ للنباتاتِ البذرية. (152)

**الحزازيات Bryophyta** نباتاتٌ تخلو من أيِّ نسيجٍ وعائي، ولا تكوِّنُ أيَّ جذورٍ أو سوقٍ أو أوراقٍ حقيقية. (126)

**الحلقة السنوية Annual ring**. حلقةُ نموٍّ سنويةٌ في نباتٍ خشبي. (139)

**حمضُ الأبسيسك Abscisic acid** هرمونٌ في النباتاتِ يُساهمُ في تنظيمِ نموِّ البراعمِ وإنباتِ البذور. (168)

**الحواجز Septa** جدرانٌ تقسمُ الخيطَ الفطريَّ إلى خلايا. (111)

## خ

**الخليةُ البلعمية Phagocyte** خليةٌ ابتلاعية. (13)

**الخشب Wood** في النباتات، نسيجٌ يتكوّنُ من عدّةِ طبقاتٍ في النسيجِ الخشبي، تتركّزُ عادةً وسطَ الساق. (139)

**الخليةُ الأنبوبية Tube cell** خليةُ حبةِ لقاحٍ تحتوي على النواةِ الأنبوبية. (155)

**الخليةُ البوغيةُ الأنثويةُ الأمّ Megaspore mother cell** خليةٌ ثنائيةُ المجموعةِ الكروموسومية، في البويضة، تقومُ بالانقسامِ المنصِّفِ لإنتاجِ أربعةِ أبواغٍ أنثويةٍ أحاديةِ المجموعةِ الكروموسومية. (154)

**الخليةُ البوغيةُ الذكريةُ الأمّ Microspore mother cell** خليةٌ ثنائيةُ المجموعةِ الكروموسومية، موجودةٌ في كيسِ حبوبِ اللقاح، تقومُ بالانقسامِ المنصِّفِ، لإنتاجِ أربعةِ أبواغٍ ذكريةٍ أحاديةِ المجموعةِ الكروموسومية. (155)

**الخليةُ الحارسة Guard cell** إحدى الخليّتينِ المحيطتينِ بفتحةِ الثغر، واللتينِ لكلٍّ منهما جدارٌ خلويٌّ مرن، وهما تنظّمانِ مرورَ الغازِ والماء. (144)

**الخليةُ المرافقة Companion cell** خليةٌ نباتيةٌ متخصصةٌ تساهمُ في التحكُّمِ بانتقالِ السكّرياتِ عبرَ الأنابيبِ الغربالية. (131)

**الخليةُ المشيجية Gametocyte** خليةٌ غيرُ متمايزة، تتحوّلُ إلى مشيج. (97)

**الخليةُ المولّدة Generative cell** في حبَّةِ اللقاح، هي الخليةُ التي تشكِّلُ خليّتينِ ذكريتين. (155)

**الخميرة Yeast** فطرٌ أحاديُّ الخلية، تشبهُ مستعمراتُه مستعمراتِ البكتيريا، ويُعرفُ بالكائناتِ الحيةِ الدقيقةِ التي تجعلُ الخبزَ ينتفخ. (112)

**الخيط Filament** في الأزهار، تركيبٌ يرتكزُ عليه المتك. (153)

**الخيطُ الفطري Hypha** هو الخيطُ الحيُّ في الفطر. (111)

## د

**الدورةُ الحالَّة Lytic cycle** عمليةُ تضاعفِ الفيروسات، وهي تؤدي إلى تدميرِ الخليةِ العائل. (64)

**دورةُ كالفن Calvin cycle** مسارٌ أحيائيٌّ كيميائيٌّ للبناءِ الضوئيِّ يتمُّ خلالهُ تحويلُ ثاني أكسيدِ الكربونِ إلى كربوهيدرات. (24)

**دورةُ كربس Krebs cycle** سلسلةٌ من التفاعلاتِ الكيميائيةِ الأحيائيةِ التي تُطلِقُ ثانيَ أكسيدِ الكربونِ وتؤدي إلى تكوّنِ وإنتاجِ الأدينوسين ثلاثيِّ الفوسفات. (37)

**الدائرةُ المحيطية Pericycle** في النباتات، هي الأسطوانةُ الخارجيةُ الأخيرةُ المكوّنةُ من خلايا في المنطقةِ الوعائيةِ الوسطى. (135)

**الدعامة Basidium** تركيبٌ تكاثريٌّ متخصِّص، يتكوّنُ عندَ خياشيمِ الفطر. (114)

**الدورةُ الضوئية Photoperiodism** هي استجابةُ النباتِ لتغيُّراتٍ في طولِ النهار. (171)

**الدياتوم Diatom** مكوِّنٌ وفيرٌ في العوالقِ النباتية، وعضوٌ في شعبةِ الطحالبِ العصوية. (102)

## ذ

**ذاتيُ التغذيةِ الضوئية Photoautotroph** كائنٌ حيٌّ يستخدمُ ضوءَ الشمسِ كمصدرٍ للطاقة. (83)

**ذواتُ الفلقةِ الواحدة Monocot** نباتاتٌ من مغطّاةِ البذورِ ذواتِ فلقةٍ واحدةٍ وعروقٍ متوازيةٍ وأجزاءُ زهرتِها متعدِّدة. (128)

**ذواتُ الفلقتيّن Dicot** نباتاتٌ من مغطّاةِ البذور، ذوات فلقتيْن وعروقٍ شبكية، أجزاءُ زهرتِها رباعيةٌ أو خماسية. (128)

## ر

**الرتبة Order** هي في علم التصنيفِ مجموعةٌ من العائلاتِ المتماثلة. (48)

**الرايزوم Rhizome** ساقٌ في جوفِ الأرض، تعودُ إلى الطورِ البوغيِّ السرخسي. (127)

**الريشة Plumule** في النباتات، هي التركيبُ المؤلّفُ من السويقةِ فوقَ الفلقية، إضافةً إلى أيِّ أوراقٍ جنينية. (159)

## ز

**الزحارُ الأميبي Amebic dysentery** مرضٌ مميتٌ أحيانًا، تسبِّبُه الأميبا التي تدخلُ الجسمَ من خلال الطعام أو الماءِ الملوّث. (95)

**زراعةُ النسيج Tissue culture** تنميةُ خلايا حيةٍ في مادةٍ وسيطةٍ خاضعةٍ للتحكُّم. (162)

## س

**السالبةُ لصِبغةِ جرام Gram-negative** بكتيريا تتلوّنُ باللونِ الزهري عندَ استخدامِ صِبغةِ جرام، وهي عادةً مزودةٌ بغلافٍ خارجيٍّ عندَ جدارِها الخلوي (77)

**سبيروكيت Spirochete** بكتيريا سالبةٌ لصِبغةِ جرامٍ، ذاتُ شكلٍ لولبي، وغيرُ ذاتيةِ التغذية. (78)

**سلسلةُ نقلِ الإلكترونات Electron transport chain** جزيئاتٌ في غشاءِ الثايلاكويد أو في الغشاءِ الداخليِّ للميتوكوندريون تستخدمُ بعضَ طاقةِ الإلكتروناتِ لضخِ بروتوناتٍ عبرَ الغشاء. (22)

**السُمُّ الخارجي Exotoxin** بروتينٌ سامٌّ تفرزُهُ البكتيريا التي تتسببُ في أمراض. (85)

**السُمُّ الداخلي Endotoxin** مادةٌ مركبةٌ تتسببُ في ردِّ فعلٍ سُمّي، وتدخلُ في تكوينِ الجدارِ الخلويِّ للبكتيريا ذاتِ التفاعلِ السالبِ لصِبغةِ جرام. (86)

**السايتوكينين Cytokinin** هرمونٌ نباتيٌّ ينشّطُ الانقسامَ الخلوي. (168)

**السبات Dormancy** حالٌ من انخفاضِ الأيض. (160)

**الأوراقُ الكأسية Sepal** ورقةٌ محوّرةٌ تحمي الزهرةَ الفتيّة. (153)

**السبوروزويت Sporozoite** كائنٌ حيٌّ أوّليٌّ يُطلَقُ من حويصلةٍ، جاهزٌ لدخولِ خليةِ عائلٍ جديد. (97)

**السداة Stamen** تركيبٌ في زهرةِ النباتِ، ينتجُ حبوبَ اللقاح. (153)

**السرّة Hilum** ندبةٌ تمتدُّ لتشملَ حافةَ بذرةِ النباتِ، وهي علامةُ تثبيتِ البذرةِ بجدارِ المبيض. (159)

**السلامية Internode** واحدٌ من أقسامِ الساق. (138)

**السويقةُ تحتَ الفلقية Hypocotyl** منطقةٌ مشابهةٌ للساقِ في النباتات، تقعُ بينَ الفلقتَين والجذرِ الأوّلي. (159)

**سيادةُ القمّةِ النامية Apical dominance** نموُّ نباتٍ وفقَ نمطٍ تكونُ فيه الأغصانُ القريبةُ من قمّةِ الساقِ النباتيةِ أقصرَ من الأغصانِ البعيدةِ عن قمةِ الساقِ النباتية. (168)

## ش

**الشُعبة Phylum** هي في علم التصنيف، مجموعةٌ من الطوائفِ المتماثلة. (48)

**الشُعَيْرة Pilus** نتوءٌ تستخدمُهُ البكتيريا للالتصاقِ بالأجسام. (82)

**شبهُ الجذر Rhizoid** تركيبٌ شبيهٌ بالجذور، يثبِّتُ النباتَ وهو في الطورِ المشيجيِّ في التربة، أو في الصخر، أو في لحاءِ الشجر، ويثبِّتُ الخيوطَ الفطريةَ بمادةٍ صلبة. (113)

**الشعيرةُ الجذرية Root hair** امتدادٌ لخلايا بشرةِ النبات. (134)

## ص

**الصبغ Pigment** لدى النبات، مركّبٌ يمتصُّ الضوءَ ويُعطي اللون. (20)

**الصبغُ المساعد Accessory pigment** صِبغٌ يمتصُّ الطاقةَ الضوئيةَ وينقُلُ الطاقةَ إلى الكلوروفيل أ في عمليةِ البناءِ الضوئي. (21)

**صِبْغةُ كرام Gram stain** مجموعةٌ من الأصباغِ التي تصبغُ البكتيريا باللونِ البنفسجيِّ أو باللونِ الزهري، وفقًا للتكوينِ الكيميائيِّ للجدارِ الخلويِّ للبكتيريا. (76)

**الصدفة Test** غطاءٌ صلدٌ لبعضِ الطلائعياتِ والحيواناتِ اللافقارية. (99)

**الصفيحةُ الغربالية Sieve plate** منطقةٌ عندَ طرفِ أنبوبٍ غرباليٍّ، تعبرُه المركّباتُ الكيميائيةُ من خليةٍ إلى خلية. (135)

## ض

**ضغطُ الامتلاء Turgor pressure** ضغطُ الماءِ داخلَ خليةٍ نباتية. (8)

## ط

**الطائفة Class** هي في علم التصنيفِ مجموعةٌ من الرُّتَبِ المتقاربة. (48)

**الطولُ الموجي Wavelength** المسافةُ التي تفصلُ بين قمَّتين، في موجة. (20)

**الطيفُ المرئي Visible spectrum** قسمٌ من ضوءِ الشمس تراهُ عينُ الإنسانِ على صورةِ ألوانٍ مختلفة. (20)

**الطائفة Variety** تقسيمٌ إضافيٌّ أو مجموعةٌ فرعية ضمنَ النوعِ الواحد. (49)

**الطحالب Algae** طلائعياتٌ ذاتيةُ التغذية. (98)

**الطحالبُ اليوجلينية Euglenoids** طحالبُ أحاديةُ الخليةِ مزوّدةٌ بسوط. (103)

**الطحلبُ الخيطي Filamentous alga** طحلبٌ ذو ثالوسٍ مرنةٍ عصويةِ الشكل، تتكوَّنُ من صفوفٍ من الخلايا المتّصلةِ الواحدةُ بالأخرى. (98)

**الطحلبُ المستعمري Colonial alga** طحلبٌ ذو تركيبٍ مكوّنٍ من مجموعاتٍ من الخلايا ذاتِ سلوكٍ تنسيقيٍّ فيما بينها. (98)

**الطورُ البوغي Sporophyte** واحدٌ من أجيالٍ ثنائيةِ المجموعةِ الكروموسومية لنباتاتٍ تعيشُ على اليابسة، وتنتجُ الأبواغ. (100)

**الطورُ المشيجي Gametophyte** تركيبٌ عديدُ الخلايا في النباتاتِ والطحالب، ينتجُ الأمشاج. (100)

## ع

**العائلة Family** هي في علم التصنيف مجموعةٌ من الأجناسِ ذاتِ القرابة. (48)

**عالي التركيز Hypertonic** صفةُ المحلول الذي يحتوي على مادةٍ مذابةٍ ذاتِ تركيز أعلى من التركيز السائدِ داخلَ خلية. (6)

**عِشرينيُّ السطوح Icosahedron** جسمٌ متعددُ السطوحِ أو مِحفظةُ فيروسٍ تتصفُ بعشرينَ سطحًا مثلثةَ الأضلع. (61)

**عقارُ سلفا Sulfa drug** مضادٌّ حيوي، يكافحُ البكتيريا بوقفِ الأيضِ الخلويِّ لديها. (86)

**علمُ الأمراض Pathology** الدراسةُ العلميةُ للأمراض. (85)

**علمُ التصنيف Taxonomy** علمُ جمعِ الكائناتِ الحيةِ وفقًا لروابطَ مفترضَةٍ تجمعُ بينها. (47)

**علمُ الفيروسات Virology** دراسةُ الفيروسات. (59)

---

**العضوُ الأنثويُّ الكيسي Ascogonium** تركيبٌ يُنتجُ الأمشاجَ في الفطرياتِ الكيسية. (115)

**العفنُ الفطري Mold** كتلةٌ من الخيوطِ الخلويةِ المتشابكةِ في الفطريات، كالعفنِ الذي ينمو في الخبز. (111)

**العقدة Node** هي طرفُ السلاميّة، حيث يتمُّ تثبيتُ ورقةِ نباتٍ واحدةٍ أو أكثر. (138)

**علمُ الفطريات Mycology** حقلُ دراسةِ الفطريات. (111)

**العنق Petiole** في الأوراق، هو التركيبُ الذي يصلُ الورقةَ بالساق. (143)

**العوالقُ الحيوانية Zooplankton** كائناتٌ حيةٌ مجهريةٌ حيوانية، تعيشُ في البيئاتِ المائية، وتمثِّلُ مستوًى أساسيًّا في العلاقاتِ الغذائية. (93)

**العوالقُ النباتية Phytoplankton** كائناتٌ حيةٌ دقيقة، مائية، ذواتُ بناءٍ ضوئي. (98)

## غ

**الغلاف Integument** في النباتات، طبقةٌ واحدةٌ أو طبقتان، لخارجِ البويضة. (151)

**غلافُ البذرة Seed coat** هو التركيبُ الواقي لبذرةِ النبات. (158)

**الغزلُ الفطري Mycelium** بساطٌ من الخيوطِ الفطريةِ المتشابكة. (111)

## ف

**الفتّاك Virulent** يتسببُ بمرضٍ ويصيبُ الضحيةَ بقوة. (64)

**الفجوةُ المنقبضة Contractile vacuole** عُضيٌّ لدى الطلائعياتِ يقومُ بطردِ الماءِ خارجَ الخلية. (7)

**الفيروس Virus** دقائقُ غيرُ حيةٍ تصيبُ الكائناتِ الحيةَ بأمراضٍ وهي تتكونُ من حِمضٍ نوويٍّ ومن غلافٍ بروتيني. (59)

**الفيروسُ الراجع Retrovirus** فيروسٌ يماثِلُ فيروسَ مرضِ الإيدز لدى الإنسان، ويحتوي على حمضٍ نوويٍّ رايبوزيٍّ وعلى أنزيمِ النسخِ العكسي. (61)

**الفيروسُ المعتدل Temperate virus** صفةٌ لفيروسٍ غيرِ فتّاك، نادرًا ما يتسببُ في أمراض. (65)

**الفيرويد Viroid** شريطٌ قصيرٌ فرديٌّ من الحمضِ النوويِّ الرايبوزي، يتسببُ في أمراضٍ لدى النباتات. (62)

---

**الفايتوكروم Pytochrome** صبغٌ في النباتاتِ لمراقبةِ التغيُّراتِ طوالَ النهار. (172)

**الفايكوبيلين Phycobilin** صبغٌ في الطحلبِ الأحمر، قادرٌ على امتصاصِ الأطوالِ الموجيةِ للضوءِ الخافتِ جدًّا، ممّا يسمحُ للطحلبِ الأحمرِ أن يعيشَ في المياهِ الشديدةِ العمق. (101)

**فتحةُ الفم Mouth pore** تركيبٌ عندَ الميزابِ الفمي، يدفعُ فيه البراميسيومُ المادةَ الغذائية. (95)

**فرضيةُ ضغطِ التدفُّق Pressure flow hypothesis** تفسيرٌ لانتقالِ السكّرياتِ عبرَ نسيجِ لحاءِ النباتات. (140)

**الفطرُ الجذري Mycorrhiza** ثنائيٌّ تقايضيٌّ من فطرٍ وجذورِ نبات. (116)

**الفطرُ الغرويُّ البلازمودي Plasmodial slime mold** عضوٌ في شعبةِ الفطرياتِ المخاطية، وهو كتلةٌ من السيتوبلازمِ عديدُ الأنويةِ تبتلعُ الغذاءَ بطريقةِ البلعمة. (105)

**الفطرُ الغرويُّ الخلوي Cellular slime mold** خلايا مفردةٌ أحاديةُ المجموعةِ الكروموسومية، تتنقّلُ كالأميبا، وفردٌ في شعبةِ الفطرياتِ الأميبية. (104)

**الفطرُ المائي Water mold** كائنٌ حيٌّ شبيهٌ بالفطر، مكوّنٌ من خيوطٍ خلوية، يعيشُ في أنظمةِ المياهِ العذبة. (105)

**الفطرياتُ الناقصة Deuteromycota** مجموعةٌ من الفطرياتِ لم يتمَّ اكتشافُ طورِها الجنسيِّ حتى الآن. (116)

**الفيوكوزانثين Fucoxanthin** صبغةٌ كاروتينويدية، وهيَ إحدى الصبغاتِ الأولى الموجودةِ في الدياتومِ والطحلبِ البنّي. (101)

## ق

**القِسْم Division** هو، في علمِ التصنيف، مجموعةٌ من طوائفِ نباتاتٍ مماثلة. (48)

**القناةُ الأيونية Ion channel** بروتينٌ غِشائيٌّ يشكلُ ممرًّا عبرَ الغشاءِ الخلوي، ينتشرُ من خلالِهِ الأيون. (10)

---

**القدمُ الكاذبة Pseudopodium** امتدادٌ سيتوبلازميٌّ مؤقت، قابلٌ للانحسار، يساهمُ في توفيرِ تنقّلِ بعضِ الكائناتِ الحيةِ بطريقةٍ أميبية. (95)

**القشرة Cortex** في النباتات، نسيجٌ أساسيٌّ بالغ، يقعُ مباشرةً داخلَ البشرةِ الخارجية. (134)

**القُشيرة Pellicle** غطاءٌ بروتينيٌّ صلب، في بعضِ الكائناتِ الحيةِ أحاديةِ الخلية. (95)

**القصَيبة Tracheid** جدارٌ طويلٌ سميكٌ ذو أطرافٍ مستدقَّةٍ يشكِّلُ جزءًا من النسيجِ الخشبيِّ في النباتات. (131)

**القلم Style** في النباتات، تركيبٌ شبيهٌ بسويقٍ في المبيض. (153)

**قلنسوةُ الجذر Root cap** غطاءٌ واقٍ للنسيجِ المولّدِ القمّي في الجذر. (134)

## ك

**الكاروتينويد Carotenoid** مركباتٌ تمتصُّ الضوءَ وتعملُ كأصباغٍ مساعدةٍ على عمليةِ البناءِ الضوئي. (21)

**كرانم Granum** كدسةٌ من الثايلاكويدات في بلاستيدةٍ خضراء. (20)

**الكلوروفيل Chlorophyll** مجموعةٌ من الأصباغِ تمتصُّ الضوءَ وتُستخدَمُ في عمليةِ البناءِ الضوئي. (21)

**كيلوسعر Kilocalorie** وحدةٌ للطاقةِ الحرارية تساوي 1000 سعرٍ وهو مقدارُ الطاقةِ الحراريةِ الضروريةِ لرفعِ درجةِ حرارةِ كيلوجرامٍ واحدٍ من الماءِ درجةً مئويةً واحدةً فقط. (34)

**الكاراجينان Carageenan** مادةٌ في الجدرانِ الخلويةِ للطحالبِ الحمراء، تُستخدمُ كمادّةٍ منعِّمة. (101)

**الكايتين Chitin** كربوهيدراتٌ يكوّنُ جزءًا من الهيكلِ الخارجيِّ في الحشراتِ والفطريات. (111)

**الكمبيومُ الفلّيني Cork cambium** نسيجٌ مولّدٌ جانبيٌّ في النباتِ ينتجُ الفليّن. (132)

**الكمبيومُ الوعائي Vascular cambium** هو النسيجُ المولّدُ الجانبيُّ في النبات، والذي ينتجُ نسيجًا وعائيًّا إضافيًّا. (132)

**الكولنكيمية Collenchyma** نسيجٌ نباتيٌّ مكوّنٌ من خلايا مستطيلةٍ ذاتِ سمْكٍ غيرِ متساوٍ، وجدرانٍ مرنة. (129)

**الكونيديوم Conidium** بوغٌ يُنتجُ خلالَ التكاثرِ اللاجنسيِّ في الفطرياتِ الكيسية. (112)

**الكيس Ascus** محفظةٌ بوغيةٌ تتكوّنُ عندَ سطحِ جسمٍ ثمريٍّ كيسي. (115)

**الكيس الجنيني Embryo sac** في النبات، نباتٌ مشيجيٌّ أنثويٌّ ضخمٌ يحتوي على سبعِ خلايا وثماني أنوية. (154)

**الكيوتيكل Cuticle** في النباتات، غطاءٌ شمعيٌّ يقي من الجفاف. (130)

## ل

**اللاقمُ الأولي Prophage** هو آكلُ بكتيريا يوجَدُ داخلَ الخليةِ ولا يُلحِقُ الأذى بالخليةِ العائل. (66)

**لاقمُ البكتيريا Bacteriophage** فيروسٌ يصيبُ البكتيريا. (63)

**اللاهوائيُّ الإجباري Obligate anaerobe** كائنٌ حيٌّ يتطلبُ عدمَ تواجدِ الأكسجين. (83)

**اللامينارين Laminarin** نوعٌ من عديدِ التسكّر، ذو وحداتٍ من الجلوكوز مترابطةٍ بطريقةٍ مختلفةٍ عن ترابطِها في النشاء. (101)

## م

**المادةُ السامة Toxin** مادّةٌ كيميائيةٌ مصدرُها أحيائيٌّ عادةً، تُلحِقُ الأذى بالوظائفِ الخلويةِ الطبيعية. (85)

**متساوي التركيز Isotonic** صفةُ المحلولِ الذي يكونُ تركيزُ المادةِ المذابةِ فيه مساويًا لتركيزِها داخلَ الخلية. (7)

**المترمِّم Saprophyte** كائنٌ حيٌّ يقتاتُ بموادَّ عضويةٍ هامدة. (83)

**المجال Domain** هو في نظامِ المجالاتِ الثلاثةِ للتصنيف، أحدُ المجموعاتِ الكبرى التي تنتمي إليها جميعُ الكائناتِ الحيةِ على قاعدةِ تحليلِ RNA للرايبوسومات. (55)

**المحبُ لدرجةِ الحرارةِ المرتفعة وللحمضيةِ المفرطة Thermoacidophile** بكتيريا قديمةٌ تعيشُ في الأماكنِ الحارةِ والحمضية. (75)

**المحبُ للملوحةِ المفرطة Extreme halophile** بكتيريا قديمةٌ تعيشُ في محيطٍ ذي تركيزٍ عالٍ جدًّا للملح. (75)

**محفظةُ الفيروس Virus capsid** البروتينُ الذي يغلّفُ الفيروس. (60)

**المحفظة Capsule** لدى الحزازيات، محفظةٌ بوغيةٌ تنتجُ الأبواغ، ولدى البكتيريا طبقةٌ واقيةٌ مكونةٌ من عديداتِ التسكّر، توجدُ حولَ الجدارِ الخلوي. (82)

**المسارُ الكيميائيُّ الأحيائي Biochemical pathway** سلسلةٌ من التفاعلاتِ الكيميائيةِ يجري فيها استهلاكُ ناتجِ تفاعلٍ واحدٍ في التفاعلِ الذي يليه. (19)

**مستقبِلُ الإلكتروناتِ الأوّليّ Primary electron acceptor** جزيءٌ يتواجدُ في غشاءِ الثايلاكويد، ويستقبلُ الإلكتروناتِ التي يفقدُها الكلوروفيل أ عبرَ التفاعلاتِ الضوئية. (22)

**المضادُ الحيويُّ Antibiotic** مادّةٌ كيميائيةٌ تمنعُ نموَّ بعضِ البكتيريا. (78)

**المضادُ الحيويُّ الواسعُ النطاق Broad-spectrum antibiotic** مضادٌّ حيويٌّ قادرٌ على التأثيرِ في كثيرٍ من أصنافِ الكائناتِ الحية. (87)

**مضخةُ الصوديوم-بوتاسيوم Sodium-Potassium pump** بروتينٌ حاملٌ ينقلُ بنشاطٍ أيوناتِ البوتاسيوم $K^+$ إلى داخلِ الخلايا، وأيوناتِ الصوديوم $Na^+$ إلى خارجِ الخلايا. (11)

**المملكة Kingdom** في علمِ التصنيف، مجموعةٌ من الشُعبِ أو الأقسامِ المماثلة. (48)

**المنتجُ للميثان Methanogen** بكتيريا تنتجُ الميثان في أثناءِ التنفسِ اللاهوائي. (75)

**منحدرُ التركيز Concentration gradient** هبوطُ أو صعودُ نسبةِ التركيز لمادةٍ معينةٍ ضمنَ حيِّزٍ معيّن. (5)

**منخفِضُ التركيز Hypotonic** صفةٌ لمحلولٍ يكونُ تركيزُ المادةِ المذابةِ فيه أدنى من تركيزِها داخلَ الخلية. (6)

**الموجبةُ لصِبغةِ جرام Gram-positive** بكتيريا تتلونُ باللونِ الزهريِّ بواسطةِ صِبغةِ جرام، وتفتقرُ عادةً إلى غلافٍ خارجيٍّ عندَ جدرانِها الخلوية. (77)

**الموقعُ المستقبِل Receptor site** منطقةٌ من الغِشاءِ الخلويِّ يتمُّ فيها التصاقُ الأنتيجين. (64)

**المبيض Ovary** قسمٌ من الزهرةِ ينتجُ بويضات. (127)

**المتاع Pistil** تركيبٌ نباتيٌّ مكوّنٌ من عدّةِ كرابل. (153)

**المتك Anther** محفظةٌ بوغيةٌ مجهريةٌ في نباتٍ من مغطّاةِ البذور، يتمُّ فيها إنتاجُ حبوبِ اللقاح. (153)

**المثقّبات Foraminifera** مجموعةٌ قديمةٌ من جذرياتِ القدمِ ذاتِ الصدفة، تعيشُ في المحيطات. (95)

**المحفظةُ البوغية Sporangium** محفظةٌ تحملُ الأبواغ، في النباتاتِ والطحالبِ والفطريات. (100)

**المحفظةُ البوغيةُ الأنثويةُ الضخمة Megasporangium** تركيبٌ ينتجُ أبواغًا أنثويةً ضخمة. (151)

**المحفظةُ البوغيةُ الذكريةُ الدقيقة Microsporangium** تركيبٌ ينتجُ أبواغًا ذكريةً دقيقة. (152)

**المحلاق Tendril** ورقةٌ متخصّصةٌ توجدُ في عدّةِ نباتاتٍ متسلّقةٍ تتّخذُ منحًى لولبيًّا. (142)

**المخروط Cone** في معرّاةِ البذور، تركيبٌ يحملُ البذور. (127)

**المدُّ الأحمر Red tide** أقسامٌ من المحيطِ تفقدُ لونَها بسببِ تفشّي جماعاتٍ أحيائيةٍ تنتمي إلى بعضِ الطحالبِ السوطيةِ الدوّارة، وهي تحتوي على مادةٍ قلويةٍ سامّةٍ تنتجُها تلك الكائنات. (102)

**المدمجُ الخلوي Coenocytic** صفةٌ لخيوطٍ خاليةٍ من الحواجز. (111)

**المصدر Source** هو المكانُ الذي يتمُّ فيه صنعُ السكّرياتِ في النباتات. (140)

**مُعرّاةُ البذور Gymnosperms** نباتٌ ذو بذورٍ لا تكونُ داخلَ مبيض. (125)

**مغطّاةُ البذور Angiosperms** نباتٌ زهري. (125)

**منظّمُ النمو Growth regulator** هرمونٌ يحفّزُ نموَّ النباتِ أو يوقفهُ. (167)

**الميروزويت Merozoite** مرحلةُ تكاثرٍ لاجنسيٍّ في دورةِ حياةِ بعضِ الطلائعياتِ الحيوانيةِ البوغيةِ الطفيلية، تنتشرُ فتصيبُ خلايا إضافية. (97)

**الميزابُ الفَميّ Oral groove** تركيبٌ شبيهٌ بالقمع، تستخدمُه ذواتُ الأهدابِ في التغذية. (97)

**الميسم Stigma** قمّةٌ ممتدةٌ للكربلة، تحملهُ القلم، وهو جزءٌ من الكربلةِ يتلقّى حبوبَ اللقاح. (153)

## ن

**النظامُ الضوئي Photosystem** لدى النباتات، وحدةٌ مكونةٌ من عدةِ مئاتٍ من جزيئاتِ الكلوروفيل وجزيئاتِ الأصباغِ الكاروتينويدية متواجدةٌ في غشاءِ الثايلاكويد. (21)

**النقلُ Transduction** لدى الفيروسات عمليةٌ يتمُّ فيها نقلُ الموادِّ الوراثيةِ من خليةٍ إلى أخرى. (84)

**النقلُ غيرُ النشط Passive transport** حركةُ انتقالِ مادةٍ معينة، عبرَ غشاءٍ خلويٍّ دونَ استخدامِ طاقةِ الخلية. (5)

**النقلُ النشط Active transport** حركةُ انتقالِ مادةٍ معينةٍ عبرَ غشاءٍ خلويٍّ بعكسِ منحدرِ التركيزَ ممّا يتطلبُ قيامَ الخليةِ باستهلاكٍ للطاقة. (11)

**النوع Species** مجموعةٌ من الكائناتِ الحيةِ تتصفُ بالخصائصِ النوعيةِ ذاتِها، وتكونُ قادرةً على إنتاجِ أجيالٍ ذاتِ خصوبةٍ في محيطٍ بيئيٍّ طبيعي. (48)

---

**النباتاتُ متعادلةُ اليوم Day neutral plant** نباتاتٌ لا تتأثّرُ بطولِ النهار. (171)

**النباتُ البذري Seed plant** نباتٌ ينتجُ بذورًا بهدفِ التكاثر. (127)

**النباتُ اللاوعائي Non vascular plant** نباتٌ يخلو من النسيجِ الوعائيِّ ومن الجذورِ والسوقِ والأوراقِ الحقيقية. (127)

**نباتُ النهارِ الطويل Long-day plant** نباتٌ يزهرُ عندَ تعرُّضِه لطولِ نهارٍ يفوقُ الطولَ الحرجَ للنبات. (171)

**نباتُ النهارِ القصير Short-day plant** نباتٌ يزهرُ عندَ تعرّضهِ لأطوالٍ نهاريةٍ تقلُّ عن الطولِ الحرجِ للنبات. (171)

**النباتُ الوعائي Vascular plant** نباتٌ يحتوي على نسيجٍ خشبيٍّ ونسيجٍ لحائي. (125)

**النتح Transpiration** تبخُّرُ الماءِ عبرَ فتحاتِ النبات. (141)

**اللب Pith** هو النسيجُ النباتيُّ الذي يقعُ وسطَ الساق. (139)

**النسيجُ الأساسي Ground tissue** نوعٌ من أنسجةِ النبات، مكوّنٌ من البرنشيميةِ والكولنشيميةِ والإسكليرنشيمية. (130)

**نسيجُ البشرة Dermal tissue** نوعٌ من الأنسجةِ النباتيةِ التي تكوّنُ الغطاءَ الخارجيَّ في النباتات. (130)

**النسيجُ المتوسط Mesophyll** في الأوراق، هو النسيجُ الذي تتمُّ فيه عمليةُ البناءِ الضوئي. (143)

**النسيجُ المتوسطُ الإسفنجي Spongy mesophyll** نسيجٌ متوسطٌ ذو خلايا غيرِ منتظمةِ الشكل، محاطةٍ بفراغاتٍ تسمحُ للأكسجينِ وثاني أكسيدِ الكربون والماءِ بالانتشارِ من الخليةِ وإليها. (143)

**النسيجُ المتوسطُ العمادي Palisade mesophyll** في النباتات، طبقةٌ من النسيجِ تحتَ البشرةِ الخارجية، حيث يتمُّ معظمُ البناءِ الضوئي. (143)

**النسيجُ المولِّد Meristem** منطقةُ النموِّ في النبات. (132)

**النسيجُ المولِّدُ البيني Intecalary meristem** منطقةٌ في النسيجِ النباتيِّ تسمحُ لأوراقِ الأعشابِ أن تعيدَ نموَّها بسرعة. ( 132)

**النسيجُ المولِّدُ الجانبي Lateral meristem** في النبات، منطقةُ نموٍّ تزيدُ قطرَ الجذرِ والساق. ( 132)

**النسيجُ المولِّدُ القمّي Apical meristem** منطقةُ نموٍّ في النباتات. (132)

**النسيجُ الوعائي Vascular tissue** يشتملُ على النسيجِ الخشبيِّ والنسيجِ اللحائيِّ في النباتات. (131)

**النصل Blade** هو القسمُ المسطّحُ والعريضُ لورقةٍ نموذجية. (142)

**نظريةُ التماسكِ والشدّ Cohesion tension theory** تنصُّ على أن الماءَ قادرٌ على الانتقالِ صعودًا، عبرَ النسيجِ الخشبيِّ للساق، بسببِ التجاذبِ القويِّ بينَ جزيئاتِ الماء. (141)

**نفثالين حمض الأسيتيك Naphthalene acetic acid** أكسينٌ صناعيٌّ يُستخدمُ في تحفيزِ تكوُّنِ الجذورِ على الساقِ وقطَعِ أوراقِ النبات. (168)

**نقلُ الغذاءِ الجاهز Translocation** انتقالُ جزيئاتٍ عضويةٍ عبرَ أنسجةٍ نباتية. (140)

**النموُّ الأوّلي Primary growth** هو النسيجُ الذي ينتجُ عن الأنسجةِ المولِّدةِ القمّيةِ في النباتات. (132)

**النموُّ الثانوي Secondary growth** هو النسيجُ الذي ينتجُ عن الأنسجةِ المولِّدةِ الجانبيةِ في النباتات. (132)

**النواتانِ القُطبيتان Polar nuclei** في النباتات، نواتان تتّجهان نحوَ وسطِ الخلية أثناءَ تكوُّنِ الكيس الجنيني. (154)

**النواةُ الصغيرة Micronucleus** في البراميسيوم، هي صُغرى النواتَين، وهي المعنيةُ بالتكاثرِ الجنسي. (95)

**النواةُ الكبيرة Macronucleus** في البراميسيوم، هي كُبرى النواتَين. (95)

**النومُ الأفريقي Trypanosomiasis** شكلٌ من أشكالِ مرضِ النوم. (96)

## هـ

**الهرمون Hormone** مادةٌ كيميائيةٌ تؤثِّرُ بشكلٍ خاصٍّ في نشاطِ خلايا بعيدة. (167)

## و

**الورقةُ البسيطة Simple leaf** ورقةٌ ذاتُ نصلٍ واحدٍ فقط. (143)

**الورقةُ السرخسية Frond** ورقةٌ بالغةٌ في نباتِ السرخس. (127)

**الورقةُ المركَّبة Compound leaf** نوعٌ من الأوراقِ يكونُ النصلُ فيها مقسّمًا إلى وريقات. (143)

**الوريقة Leaflet** واحدٌ من أقسامِ النصل. (143)

**الوعاءُ الخشبي Xylem vessel** في النباتات، تركيبٌ مكوَّنٌ من خلايا تشكِّلُ أنبوبًا ينقلُ الماءَ والأملاحَ عبرَ النبات. (131)

## اختصارات

**FAD** فلافين أدينين داينيوكليوتايد، هو مركّبٌ يستقبلُ الإلكتروناتِ خلالَ تفاعلاتِ الاختزالِ والأكسدة. (38)

**$NAD^+$** نيكوتيناميد أدينين داينيوكليوتايد، هو جزيءٌ عضويٌّ يستقبلُ الإلكتروناتِ خلالَ تفاعلاتِ الاختزالِ والأكسدة. (32)

**$NADP^+$** نيكوتيناميد أدينين داينيوكليوتايد، هو فوسفاتُ جزيءٍ عُضويٍّ يستقبلُ إلكتروناتٍ خلالَ تفاعلاتِ الاختزالِ والأكسدة. ( 22)

**PGA** حَمْضُ جليسرين أُحاديُّ الفوسفات، هو جزيءٌ ثلاثيُّ الكربون يتكونُ عبرَ الخطوةِ الأولى من دورةِ كالفن. (24)

**PGAL** جليسر–ألديهايد أُحادي الفوسفات، هو جزيءٌ ثلاثيُّ الكربون يتكوّنُ عبرَ الخطوةِ الثانيةِ من دورةِ كالفن، ويمكنُهُ الخروجُ من الدورة، وهو يُستخدَمُ في صنعِ مركباتٍ عُضويةٍ أخرى. (24)

**RuBP** رايبولوز ثنائيُّ الفوسفات، هو سكّرٌ خماسيُّ الكربون يتحدُ بثاني أكسيدِ الكربون ليشكل جزيئينِ من PGA خلال الخطوةِ الأولى من دورةِ كالفن. (24)